

MADENCİLİK

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI DERGİSİ
THE JOURNAL OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS OF TURKEY

ARALIK
DECEMBER
2012

CİLT
VOLUME
51

SAYI
NUMBER
4

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- Kadir KARAMAN, Ayhan KESİMAL **3** **Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Nokta Yüğü Deney Yöntemleri ve Porozitenin Değerlendirilmesi**
Evaluation of Point Load Test Methods and Porosity for Estimation the Uniaxial Compressive Strength of Rocks
- S. Yasin KILLIOĞLU, Bahtiyar ÜNVER, Güneş ERTUNÇ **15** **Sanal Gerçekliğin Dünya Madencilikteki Yeri ve Ülkemiz için Fırsatlar**
Virtual Reality in the World Mining and Opportunities for Turkey
- Z. Ebru SAYIN, Uğur AKSOY **23** **Mermer Toz Artıkları Özelliklerinin İyileştirilmesine Falcon Gravite Konsantratörün Etkisi**
Effect of the Falcon Gravity Concentrator on the Improvement of Properties of Marble Powder Wastes
- Mustafa Yavuz ÇELİK, Yasin ÖZTÜRK **31** **Afyonkarahisar'da Tarihi Çeşmelerde Yapıtışı Olarak Kullanılan Volkanik Kayaçlardaki Bozunmaların İncelenmesi**
The Investigation of the Weathering of Volcanic Rocks Used as Building Stone of Historic Fountains in Afyonkarahisar

MADENCİLİK dergisi yazı dizin ve özetlerinin yer aldığı veri tabanları / **INDEXED in IMM Abstracts, GeoRef, Aluminium Industry Abstracts, Cambridge Scientific Abstracts, PASCAL, Chemical Abstracts, ENCOMPLIT, ENCOMPLİT2, ENERGY, Compendex**

Abone Koşulları:

Yıllık abone bedeli 100,00 TL'dir.

Subscription

Annual subscription rate is 100,00 TL. All subscription inquiries should be made to the correspondence address.

Banka Hesap No:

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Şubesi:
IBAN: TR43 0006 4000 0014 2130 008120

T.C. Ziraat Bankası Kızılay Şubesi:
IBAN: TR19 0001 0006 8539 0090 315001

Posta Çeki Hesap No: 86665

By bank transfer to (USD account)

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Branch,
Kızılay - Ankara
Swift Code : ISBKTRISXXX
IBAN- TR860006400000242130774805

By bank transfer to (EURO account)

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Branch,
Kızılay - Ankara
Swift Code : ISBKTRISXXX
IBAN- TR190006400000242130784644

ISSN: 0024-9416

MADENCİLİK DERGİSİ 2012 HAKEM LİSTESİ
LIST OF REVIEWERS FOR THE JOURNAL OF MADENCİLİK IN 2012

Prof. Dr. Ata AKÇİL	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Turan BATAR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. M. Ümit ATALAY	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Abdullah SEYRANKAYA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Vedat ARSLAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Özcan GÜLSOY	Hacettepe Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent ERDEM	Cumhuriyet Üniversitesi
Prof. Dr. Erhan TERCAN	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Murat ERDEMOĞLU	İnönü Üniversitesi
Doç. Dr. Tuğrul ÜNLÜ	Bülent Ecevit Üniversitesi
Doç. Dr. Hürriyet AKDAŞ	Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. Sair KAHRAMAN	Niğde Üniversitesi
Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU	Cumhuriyet Üniversitesi
Doç. Dr. Taki GÜLER	Muğla Üniversitesi
Doç. Dr. Tayfun ÇIÇEK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet DAĞ	Çukurova Üniversitesi
Doç. Dr. Kerim AYDINER	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Gülsev UYAR ALDAŞ	Ankara Üniversitesi
Doç. Dr. Ümit ÖZER	İstanbul Üniversitesi
Prof. Dr. Celal KARPUZ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ	Süleyman Demirel Üniversitesi
Doç. Dr. Zeki KARACA	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Fatih BAYRAM	Aksaray Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ	Osmangazi Üniversitesi

KAYAÇLARIN TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI TAHMİNİNDE NOKTA YÜKÜ DENEY YÖNTEMLERİ VE POROZİTENİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Evaluation of Point Load Test Methods and Porosity for Estimating the Uniaxial Compressive Strength of Rocks

Kadir KARAMAN*
Ayhan KESİMAL**

ÖZET

Nokta yükü dayanım indeksi ($Is_{(50)}$) ve görünür porozite (n) kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (UCS) tahmininde hızlı, ucuz ve kolay deneyler olmalarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Nokta yükü dayanım indeksi deney yöntemleri (eksenel ve çapsal) ve görünür porozite değerleri kullanılarak kayaçların UCS tahmini için istatistiksel eşitlikler belirlenmiştir. Bu çalışmada 3'ü magmatik, 2'si metamorfik ve 4'ü tortul olmak üzere 9 farklı kayaç türü üzerinde deneyler yapılmıştır. Eksenel ve çapsal deney yöntemleri için, UCS ve nokta yükü dayanım indeksi değerleri arasında güçlü lineer ilişkiler bulunmuştur. Buna karşın, eksenel nokta yükü dayanım indeksi yönteminin çapsal yöntemle kıyasla kayaçların UCS tahmininde daha az güvenilir olduğu görülmüştür. Bu çalışma, görünür porozitenin %15'ten %24'e çıkması durumunda biyomikritik kireçtaşları için UCS/ $Is_{(50)}$ oranının 24'ten 11'e düştüğünü göstermiştir. UCS ve $n < 1\%$ değerleri arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve literatürde bulunan bazı çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ayrıca görünür porozitenin ($n < 1\%$) kayaçların UCS değerlerini tahmin etmede güvenilir olmadığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Nokta Yükü Dayanım İndeksi, Görünür Porozite

ABSTRACT

The point load index ($Is_{(50)}$) and apparent porosity (n) have been commonly used for predicting the uniaxial compressive strength (UCS) of rocks, due to the fact that they are quick, inexpensive and easy test methods. Statistical equations have been determined for estimating of the UCS of rocks by means of the point load index test methods (axial and diametral) and apparent porosity values. Nine different rock types were sampled and tested in the current study, 3 of which were igneous, 2 were metamorphic, and 4 were sedimentary. Strong linear relations between the point load strength index values and the UCS values were found for the axial and diametral test methods. Notwithstanding this, it was shown that estimating the UCS of rocks using axial point load strength index method is less reliable compared with the diametral method. The current study showed that an increase in apparent porosity from 15% to 24% leads to decrease in UCS/ $Is_{(50)}$ ratio from 24 to 11 for biomicritic limestone. The relationship between UCS and porosity ($n < 1\%$) values were evaluated and compared with the previous studies in the literature. The current study revealed that porosity ($n < 1\%$) values are not reliable for estimating of the UCS.

Key words: Uniaxial Compressive Strength, Point Load Strength Index, Apparent Porosity

* Arş. Gör. Karadeniz Teknik Üni, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON, kadirkaraman@ktu.edu.tr

** Prof. Dr. Karadeniz Teknik Üni, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON

1. GİRİŞ

Yeraltı ve yerüstü yapılarının tasarımında, kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, inşaat, maden ve jeoloji mühendisleri için çok önemlidir. En yaygın kullanılan mekanik parametre tek eksenli basınç dayanımı (UCS) olup (Karaman vd, 2011), hem Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM, 2007), hem de Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM, 1984) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Ancak, kayaçların UCS değerlerini belirlemede kullanılan deney aleti oldukça pahalı olup, yüksek kaliteli karot örneklerine ihtiyaç duyulmakta ve özellikle örneklerin deneye hazırlanması zaman almaktadır (Fener vd, 2005; Kılıç ve Teymen, 2008; Kahraman ve Yeken, 2010; Ersoy ve Kanık, 2012). Ayrıca, çok zayıf, ince tabakalı ve çok sık eklemli kaya kütlelerinden istenilen geometride karot örneklerinin elde edilmesi oldukça zor olmaktadır (Gökçeoğlu ve Zorlu, 2004; Mishra ve Basu, 2012; Singh vd, 2012). Bu nedenle, UCS değerini tahmin etmek için nokta yükü dayanım indeksi ($I_s_{(50)}$) ve görünür porozite (n) gibi dolaylı yöntemler; daha hızlı, daha basit ve daha ekonomik çözümler sunduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır (Cargill ve Shakoor, 1990; Kahraman, 2001; Sönmez vd, 2006; Baykasaoğlu vd, 2008).

$I_s_{(50)}$, hem laboratuvar hem de arazide uygulanabilirliği ve test kolaylığı açısından UCS tahmini için yaygın olarak kullanılan ve kabul gören bir deney yöntemidir. Birçok araştırmacı UCS ve $I_s_{(50)}$ arasında deneysel ilişki sağlamak için farklı kökenden (magmatik, metamorfik ve tortul) muhtelif kayaç örnekleri üzerinde çalışmalarda bulunmuş ve UCS tahmini için eşitlikler önermişlerdir (Broch ve Franklin, 1972; Kahraman, 2001; Tsiambaos ve Sabatakakis, 2004; Heidari vd, 2012; Singh vd, 2012). Bu eşitliklerin çoğu benzer sonuçlar vermesine rağmen, tüm kayaç tipleri için $I_s_{(50)}$ 'den UCS tahminine yönelik tek bir faktör yoktur (Brook, 1985; Chau ve Wong, 1996; Hawkins, 1998; Romana, 1999). Ayrıca birçok yazar (Palchik ve Hatzor, 2004; Fener vd, 2005; Akram ve Bakar, 2007; Kılıç ve Teymen, 2008), $I_s_{(50)}$ 'yi belirleme yöntemlerinden sadece çapsal yöntemi kullanmış olup, çok az sayıda yazar (Heidari vd, 2012) ise diğer yöntemlerle de (eksenel ve şekilsiz örnekler üzerinde) deney yaparak sonuçlarını UCS değerleriyle karşılaştırmıştır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında hem çapsal hem de

eksenel $I_s_{(50)}$ deneyler yapılarak sonuçları UCS değerleriyle karşılaştırılmıştır. Kayaçların n (%) değerleri, UCS (Palchik ve Hatzor, 2004; Moh'd, 2009) ve $UCS/I_s_{(50)}$ oranını (Palchik ve Hatzor, 2004) etkilediğinden, bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular irdelenmiş ve tartışılmıştır. UCS, $I_s_{(50)}$, $UCS/I_s_{(50)}$ ve n değerlerinin arasında elde edilen eşitlikler ve bulguların bundan sonraki araştırmacılara pratik çözüm sağlayacağı düşünülmüştür.

2. ÖRNEKLEME VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 3'ü magmatik, 2'si metamorfik ve 4'ü tortul olmak üzere 9 farklı kayaç üzerinde çalışılmıştır. Magmatik kayaçlar ve tortul kayaçlar Trabzon, metamorfik kayaçlar ise Amasya (mermer-1) ve Muğla illerinden (mermer-2) temin edilmiştir. Standartlara uygun karot örneklerinin alınabilmesi için, arazide her blok örneğinin makroskopik incelemeleri yapılarak çatlak, kırık ve ayrışma gibi olumsuzluklar giderilmeye çalışılmıştır.

Laboratuvarda karot alma ve düzeltme makineleri deney örneklerinin hazırlanması için kullanılmıştır. UCS, $I_s_{(50)}$ ve n (%) deneyleri ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır. Deneyler sağlam/taze karot örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (ayrışma durumları aynı). UCS ve eksenel- $I_s_{(50)}$ deneyleri tabakalanma düzlemine dik yönde, çapsal- $I_s_{(50)}$ deneyleri ise tabakalanma düzlemine paralel yönde yapılmıştır. Magmatik kayaçlar çoğunlukla tabakalanma düzlemi içermediğinden, deneyler UCS deneylerinde kullanılan örnekler üzerinde yapılmıştır. Zayıflık düzlemi veya içerdiği kırık zonlardan dolayı örnek yenildiğinde sonuçlar çıkarılarak ortalamaya dahil edilmemiştir. Deneylerde kullanılan kayaç isimleri, ortalama değerler ve standart sapma değerleri Çizelge 1'de yer almaktadır.

2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

UCS deneylerinde boy/çap (L/D) oranı en az 2.5 olan NX (54.7 mm) çaplı karot örnekleri kullanılmıştır. Deneyler, 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü makine ile yükleme hızı 0.5–1.0 MPa/s arasında olacak şekilde uygulanmıştır. Biyomikritik kireçtaşları için 10'ar adet diğer kayaçlar için 5'er adet olmak üzere toplam 65 karot örneği deneye tabi tutulmuştur (Şekil 1a, 1d).

Çizelge 1. Kayaçların Ortalama Deney Sonuçları ve Standart Sapma Değerleri

Kayaç adı	UCS (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa, eksenel)	$I_{s(50)}$ (MPa, çapsal)	Görünür porozite (%)
Bazalt	86.9±9.2	3.10±0.18	3.56±0.08	1.3±0.04
Andezit	172.8±24.5	9.49±0.43	8.62±0.27	0.9±0.04
Dasit	111.2±7.5	4.04±0.95	4.19±0.80	0.87±0.06
Mermer-1	40.7±12.3	2.58±0.18	2.45±0.14	0.28±0.03
Mermer-2	53.2±5.7	2.66±0.15	2.62±0.12	0.17±0.01
Biyomikritik kireçtaşı (açık gri)	11.6±1.9	1.02± 0.12	0.74± 0.11	19.74±0.95
Biyomikritik kireçtaşı (koyu gri)	18.9±1.1	1.97±0.13	0.78±0.11	14.92±3.28
Biyomikritik kireçtaşı (kırmızı)	8. 5±0.9	1.54±0.12	0.55±0.22	18.06±1.14
Biyomikritik kireçtaşı (sarı)	7.7±1.2	0.92±0.24	0.67±0.21	23.76±1.32

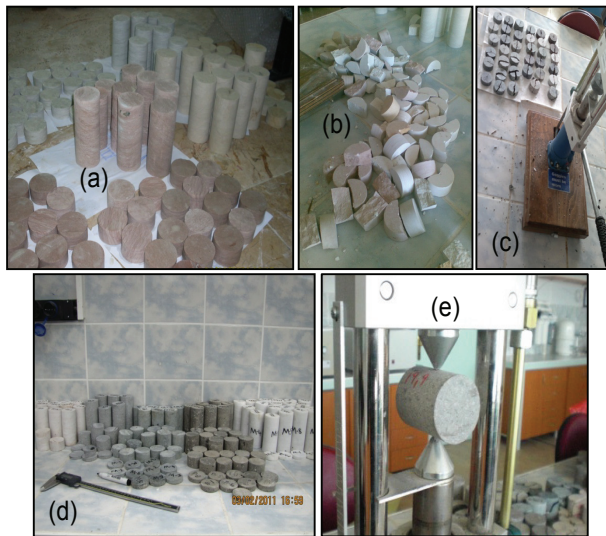
2.2. Nokta Yükü Dayanım İndeksi

İlk olarak ISRM (1985) tarafından standart haline getirilen $I_{s(50)}$ için eksenel, çapsal ve şekilsiz olmak üzere üç farklı değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada, her kayaç türü için eksenel ve çapsal deneyler NX çaplı örnekler üzerinde yapılmıştır. Örnek boyutları çapsal deney için L/D oranı yaklaşık (1.1–1.2) iken, eksenel deney için L/D oranı (0.5–0.55) arasında olan karot örnekleri kullanılmıştır. Örnekler 10–60 saniye arasında kırılacak şekilde yüklemeye tabi tutulmuştur. Deneylerde dijital nokta yükü test aleti kullanılmış olup (Şekil 1c, 1e), ilk olarak düzeltilmemiş nokta yükü indeksi (I_s) bulunmuştur. Düzeltilmemiş nokta yük dayanımı değeri referans çapa (D=50 mm) göre düzeltmek için ISRM (2007) tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır. Her yöntem için 10'ar adet örnek olmak üzere toplam 180 adet karot örneği çapsal

ve eksenel deneylerde kullanılmıştır (Şekil 1b, c ve e). Her kaya türü ve deney yöntemi için en yüksek ve en düşük iki sonuç ortalamaya dahil edilmemiş olup, geriye kalan 6 değerler ortalaması kullanılmıştır.

2.3. Görünür Porozite Deneyleri

Her kayaç türü için en az 4–5 deney NX çaplı örnekler üzerinde yapılmıştır. Karot örneklerinin içerdiği boşluk hacimleri doygun ve kuru ağırlıkları (etüvde 24 saat 105°C'de) arasındaki fark ile bulunmuş olup, toplam hacim ise karotların boy ve çapının 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas ile ölçülmesiyle hesaplanmıştır. Örneklerin ağırlıkları 0.01 g hassasiyetli terazi ile ölçülmüştür. Görünür porozite değerleri her örnek için boşluk hacminin örnek hacmine oranının yüzdesi olarak bulunmuştur. Toplamda yaklaşık 40–45 karot örneği deneylerde kullanılmıştır.



Şekil 1. Biyomikritik kireçtaşları (a) ve eksenel deney sonrası örnekler (b ve c), diğer kayaç gruplarından bazıları (d) ve çapsal deneyin uygulanışı (e)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kayaçların Dayanım Özellikleri

Kayaçların UCS değerleri 7.7 ile 172.8 MPa, eksenel $I_{s(50)}$ değerleri 0.92 ile 9.49 MPa, çapsal $I_{s(50)}$ değerleri 0.55 ile 8.62 MPa ve n (%) değerleri 0.17 ile 23.76 (%) arasında değişmektedir. ISRM (1981) tarafından önerilen UCS dayanım sınıflamasına göre bu çalışmada kullanılan kayaçların dayanım sınıflaması değerlendirilmiştir (Çizelge 2). Çizelge 2'ye göre, bu çalışmada kaya sınıfı “düşük dayanımlı” olan tortul kayaçlar kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Metamorfik kayaçlar “orta dayanımlı” kaya sınıfında yer almaktadır. Magmatik kayaçların ise “yüksek dayanımlı” kaya sınıfına dahil olduğu görülmektedir. Bieniawski (1975) tarafından önerilen kayaçların nokta yükü dayanımına göre sınıflandırılması eksenel ve çapsal deney bulgularına göre değerlendirilmiştir (Çizelge 3).

Bütün kayaçlar dikkate alındığında, eksenel deney bulgularının bütün kaya sınıflarını temsil ettiği gözlenirken, çapsal deney bulgularının ise “düşük dirençli” haricinde diğer kaya sınıflarını içerdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca “çok düşük dirençli” tortul kayaçlarda (biyomikritik kireçtaşları) çapsal deney yöntemi ile elde edilen sonuçların eksenel deneye nazaran daha düşük sonuçlar verdiği ortaya çıkmaktadır. Diğer bir ifadeyle bu çalışmada kullanılan tortul kayaçlar için, eksenel yöntemin ($I_{s(50)}$) çapsal yöntemine nazaran 1.37 ile 2.80 kat daha yüksek sonuçlar verdiği anlaşılmıştır (Çizelge 1). Çapsal deneyin kayacın tabakalanma düzlemine paralel yönde yapılmasının, kayacın daha düşük dayanımda yenilmesine neden olduğu düşünülmüştür. Bazı magmatik kayaçlarda (bazalt ve dasit) çapsal deney yöntemi ile elde edilen nokta yükü dayanımının eksenel deney yöntemine göre biraz yüksek sonuçlar verdiği (Çizelge 1), ancak dayanım sınıfı üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 2. Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımına Göre Sınıflandırılması (ISRM, 1981)

Kaya sınıfı	UCS (MPa)	Magmatik	Metamorfik	Tortul
Çok düşük dayanımlı	<6	–	–	–
Düşük dayanımlı	6–20	–	–	4
Orta dayanımlı	20–60	–	2	–
Yüksek dayanımlı	60–200	3	–	–
Çok yüksek dayanımlı	>200	–	–	–

Çizelge 3. Kayaçların Nokta Yük Dayanımına Göre Sınıflandırılması (Bieniawski, 1975)

Kaya sınıfı	$I_{s(50)}$ (MPa)	Magmatik		Metamorfik		Tortul	
		Eks.	Çaps.	Eks.	Çaps.	Eks.	Çaps.
Çok düşük dirençli	< 1	–	–	–	–	1	4
Düşük dirençli	1 – 2	–	–	–	–	3	–
Orta dirençli	2 – 4	1	1	2	2	–	–
Yüksek dirençli	4 – 8	1	1	–	–	–	–
Çok yüksek dirençli	> 8	1	1	–	–	–	–

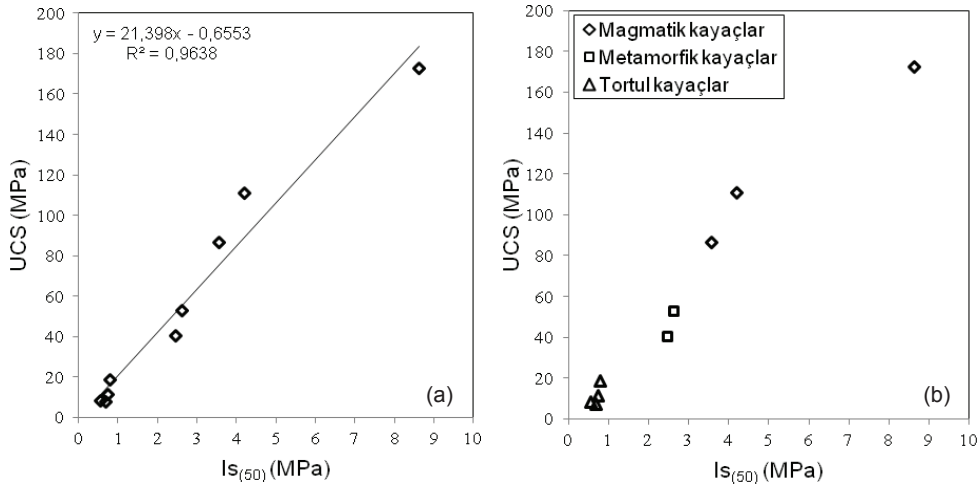
Eks.: Eksenel deney, Çaps.: Çapsal deney

3.2. Verilerin İstatistiksel Analizleri

Her bir bağımsız değişken için basit regresyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen ilişkiler arasında (üs, üstel, logaritmik, polinom ve lineer) deneysel sonuçları en iyi temsil eden ilişki belirlenmiştir. İlişkinin kuvveti R^2 kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk olarak, kayaçların UCS değerleri ile çapsal- $Is_{(50)}$, eksenel- $Is_{(50)}$ ve n (%) değerleri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Daha sonra UCS/ $Is_{(50)}$ oranı ile n (%) arasındaki ilişkiye bakılmıştır.

UCS ile çapsal- $Is_{(50)}$ arasında çok yüksek lineer ilişki gözlenmiştir (Şekil 2). UCS ile çapsal- $Is_{(50)}$ arasındaki ilişkinin kuvvetini ifade eden $R^2 = 0.96$ olarak bulunmuştur. UCS ile eksenel- $Is_{(50)}$ arasında da lineer bir ilişki ($R^2 = 0.89$) gözlenmiştir (Şekil 3). Şekillerden görüldüğü gibi UCS ile çapsal- $Is_{(50)}$ arasındaki ilişkiden elde edilen determinasyon katsayısının eksenel- $Is_{(50)}$ ile UCS arasındaki ilişkiye göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda UCS tahmini için çapsal- $Is_{(50)}$ 'nin eksenel- $Is_{(50)}$ yöntemine göre daha güvenilir olduğu

görülmüştür. Ancak, tortul kayaçlarda çapsal- $Is_{(50)}$ deneyleri tabakalanma düzlemine paralel yönde yapılmıştır. Bu nedenle elde edilen eşitliğin (Şekil 2) tüm deneyler, aynı yükleme durumu (tabakalanma düzlemine paralel veya dik yönde) sonuçlarına göre karşılaştırıldığında daha güvenilir olacaktır. Ayrıca, kayaçların kökenlerine (magmatik, metamorfik ve tortul) göre UCS ve $Is_{(50)}$ arasındaki doğrunun eğiminin de farklı olabileceği şekillerden anlaşılmaktadır. Kılıç ve Teymen (2008) 19 farklı kayaç üzerinde yaptığı çalışmada, UCS ve $Is_{(50)}$ arasındaki ilişkiyi en iyi temsil eden eğrinin logaritmik olduğunu (R^2 0.98) ifade etmişlerdir. Kahraman vd (2005) ve Fener vd (2005) ise UCS ve $Is_{(50)}$ arasındaki ilişkinin lineer olduğunu sırasıyla 38 farklı ($R^2=0.61$) ve 11 farklı kayaç için ($r=0.85$) belirtmişlerdir. Quane ve Russel (2003) UCS ve $Is_{(50)}$ arasında dayanımı yüksek kayaçlarda lineer, dayanımı düşük kayaçlarda ise lineer olmayan bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. Kahraman (2001) UCS ve $Is_{(50)}$ arasında lineer bir ilişki bulmuş olup, kömür kökenli kayaçların diğer kayaçlara nazaran daha dik eğim çizgisine sahip olduğunu vurgulamıştır.



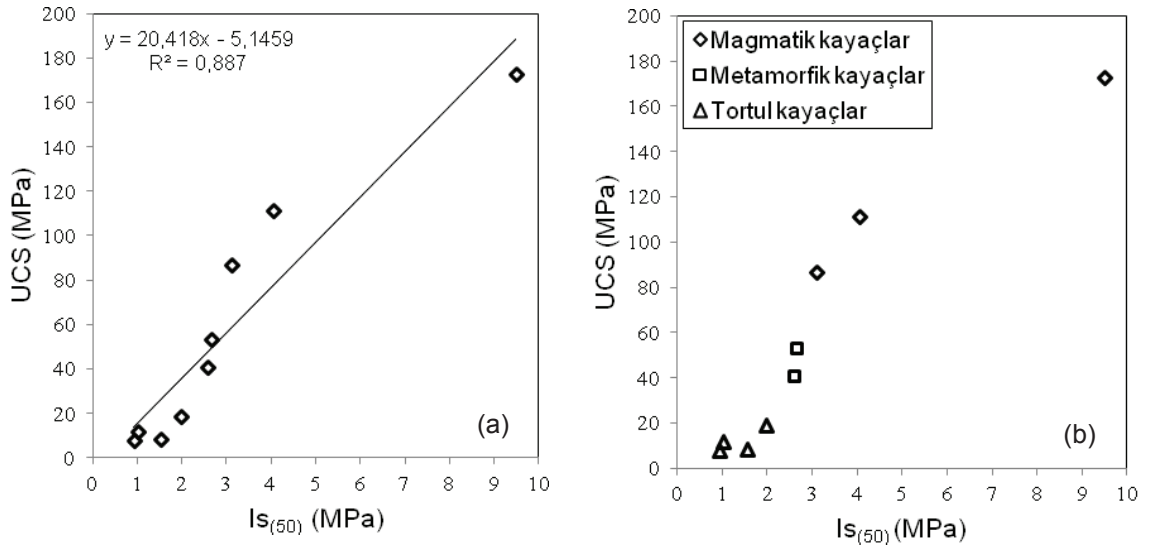
Şekil 2. UCS ve çapsal- $Is_{(50)}$ arasındaki ilişki (a) ve kayaçların jeolojik kökenine göre gösterimi (b)

UCS'nin pratik tahminine yönelik olarak UCS/ $Is_{(50)}$ oranı (k) üzerine literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar $Is_{(50)}$ 'den UCS tahminini oldukça kolaylaştırmış olmasına rağmen tüm kayaç tipleri için tek bir "k" değeri mevcut değildir (Brook, 1985; Chau ve Wong, 1996; Hawkins, 1998; Romana, 1999). Genel olarak birçok yazar (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; ISRM, 1985), UCS/ $Is_{(50)}$

oranının (k) 20–25 arasında, farklı litoloji ve koşullar için 7–68 arasında (Hawkins, 1998), bununla beraber genel kümelenmenin 10–30 arasında değiştiğini ifade etmektedir (Al-Jassar ve Hawkins, 1979; Norbury, 1986; Topal, 2000). "k" değerinin dayanımı yüksek kayaçlarda büyük, düşük kayaçlarda ise küçük değer aldığı bilinmektedir. Palchik ve Hatzor (2004) tebeşir taşları için k değerinin 8–18 arasında değiştiğini,

Tsiambaos ve Sabatakakis (2004) ise zayıf tortul kayaçlar için k değerinin 13 ($I_{s(50)} < 2$ MPa), dayanımı daha yüksek kayaçlar için 28 ($I_{s(50)} > 5$ MPa) olduğunu işaret etmişlerdir. Karaman (2011) dayanımları 7–19 MPa arasında değişen dört farklı biyomikritik kireçtaşları için eksenel, çapsal ve şekilsiz deney yöntemlerine göre k=12 değerinin UCS tahmininde kullanılabileceğini ifade etmiştir. Topal (2000) tüfler üzerinde yaptığı çalışmada k değerinin 20'nin altında genelde 13–14 olduğunu ve zayıf kayaçlar için, k=22–24 değerinin kullanılmaması gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışmada hem eksenel hem de çapsal deney için k değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4). Eksenel deney sonuçları, tortul

kayaçlar için k=6–11, metamorfik kayaçlar için k=15–20 ve magmatik kayaçlar için k=18–28 değerlerini göstermiştir. Çapsal deney sonuçlarına göre; tortul kayaçlar için k değerleri 11–24 (genelde 11–15 arasında), metamorfik kayaçlar için 17–20 ve magmatik kayaçlar için 20–27 bulunmuştur. Genel olarak bu çalışmada, dayanımı yüksek kayaçlarda büyük, düşük kayaçlarda ise küçük k değeri bulunmuş ve literatürle paralel sonuçlar ortaya çıkmıştır. Ayrıca “düşük dayanımlı” kaya sınıfına giren tortul kayaçların yukarıda ifade edildiği gibi çapsal- $I_{s(50)}$ değerlerinin daha düşük olması, “k” değerini eksenel yöntemle göre artırdığı ortaya çıkmıştır.



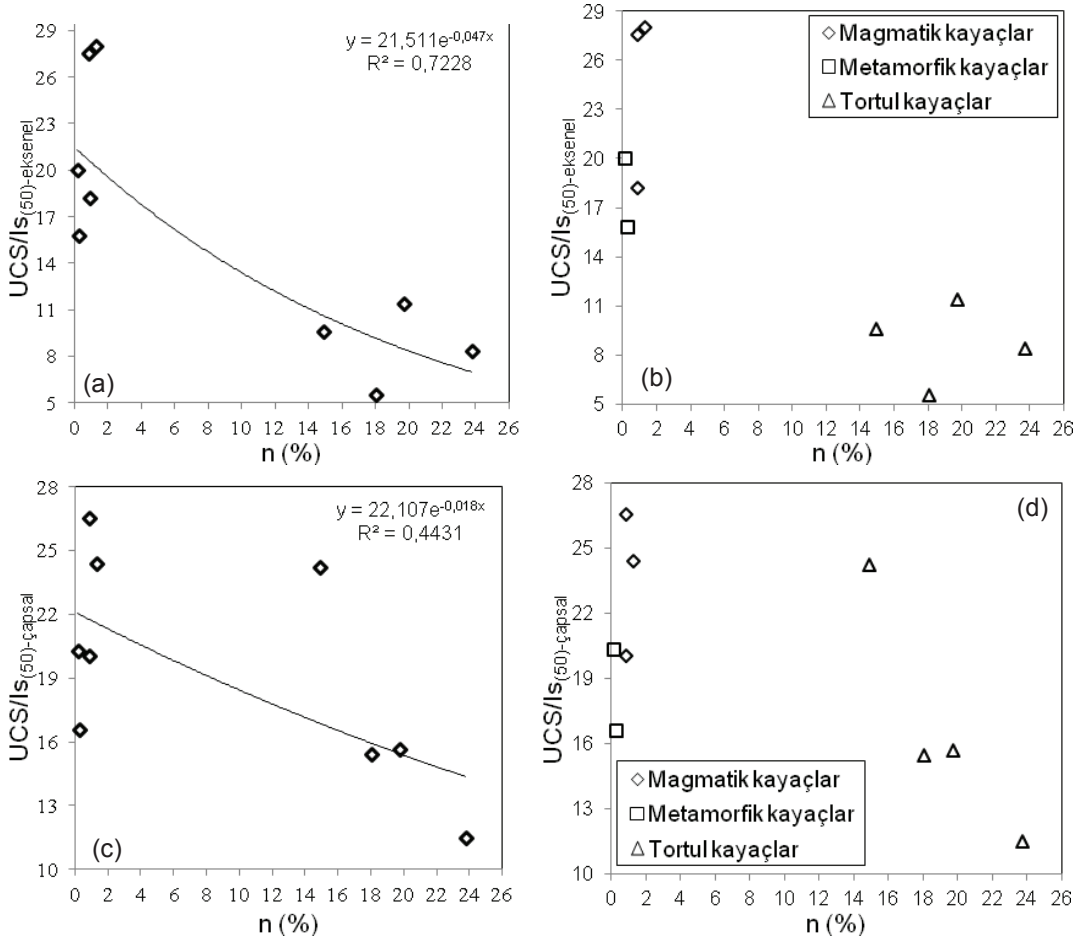
Şekil 3. UCS ve eksenel- $I_{s(50)}$ arasındaki ilişki (a) ve kayaçların jeolojik kökenine göre gösterimi (b)

Çizelge 4. Kayaçlar İçin Eksenel ve Çapsal Deney Yöntemlerine Göre Belirlenen k-Değerleri

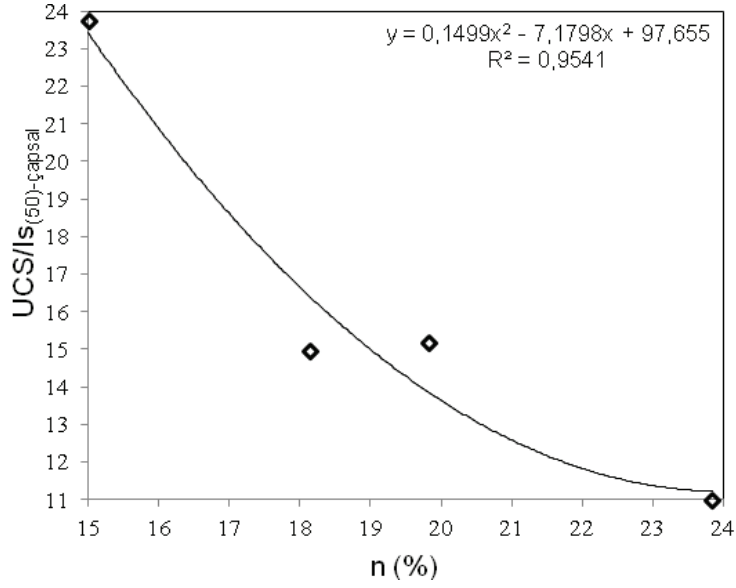
Kayaç adı	UCS (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa, eksenel)	k-değeri	$I_{s(50)}$ (MPa, çapsal)	k-değeri
Bazalt	86.9	3.10	28.03	3.56	24.41
Andezit	172.8	9.49	18.21	8.62	20.05
Dasit	111.2	4.04	27.52	4.19	26.54
Mermer-1	40.7	2.58	15.78	2.45	16.61
Mermer-2	53.2	2.66	20.00	2.62	20.31
Biyomikritik kireçtaşı (açık gri)	11.6	1.02	11.37	0.74	15.68
Biyomikritik kireçtaşı (koyu gri)	18.9	1.97	9.59	0.78	24.23
Biyomikritik kireçtaşı (kırmızı)	8.5	1.54	5.52	0.55	15.45
Biyomikritik kireçtaşı (sarı)	7.7	0.92	8.37	0.67	11.49

Palchik ve Hatzor (2004) porozitesi yüksek tebeşir taşları (%18–44) üzerinde yaptığı çalışmada, $UCS/Is_{(50)}$ oranının n (%) değerlerinden etkilendiğini ifade etmişlerdir. Yazarlar, n değerlerinin %18 den %40'a çıkması durumunda $UCS/Is_{(50)}$ oranının üssel olarak 18'den 8'e düştüğünü ortaya koymuşlardır. Kahraman vd (2005) tarafından çalışılan magmatik, metamorfik ve tortul köken içeren 38 farklı kayaca göre, $UCS/Is_{(50)}$ oranı ile n (%) arasında bir ilişki bulunamamıştır. Bunun nedeni olarak yazarlar, Palchik ve Hatzor (2004)'un sadece tebeşir taşı üzerinde çalışma yaptıklarını ve bundan dolayı $UCS/Is_{(50)}$ oranı ile n (%) arasında bir ilişki bulduklarını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, $UCS/Is_{(50)}$ oranı ile n (%) değerleri arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır (Şekil 4a, 4c). Şekil 4a'da determinasyon katsayısı $R^2=0.72$ olup, n (%) arttıkça $UCS/Is_{(50)}$ oranının azaldığı anlaşılmaktadır. Ancak $n < 1$ olduğu durumda $UCS/Is_{(50)}$

oranının yaklaşık 28'den 15'e kadar düştüğü, yani n değerlerinin oran üzerinde etkili olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 4c'de ise $n < 1$ olduğu durum için benzer bir durum söz konusu iken, biyomikritik kireçtaşlarının ayrı bir yönelimle olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle, $UCS/Is_{(50)}$ oranı ile n (%) arasındaki ilişkiyi daha iyi anlayabilmek için biyomikritik kireçtaşları çapsal $Is_{(50)}$ için ayrıca değerlendirilmiştir (Şekil 5). Biyomikritik kireçtaşları için n değerleri yaklaşık %15'den %24'e çıktığında, $UCS/Is_{(50)}$ oranı yaklaşık 24'ten 11'e düşmektedir. Kahraman vd (2005) tarafından işaret edildiği gibi $UCS/Is_{(50)}$ oranı kayaç tek tip olduğunda daha iyi sonuç vermektedir. Bu çalışmada, $UCS/Is_{(50)}$ oranı ile n (%) arasında, yüksek n içeren kayaçlar için daha iyi bir ilişkinin elde edilebileceği anlaşılmıştır. Ancak Şekil 5'te kullanılan veri sayısının az olmasından dolayı $UCS/Is_{(50)}$ ve görünür porozite (%) arasındaki ilişkinin güvenilir olmadığı düşünülmüştür.



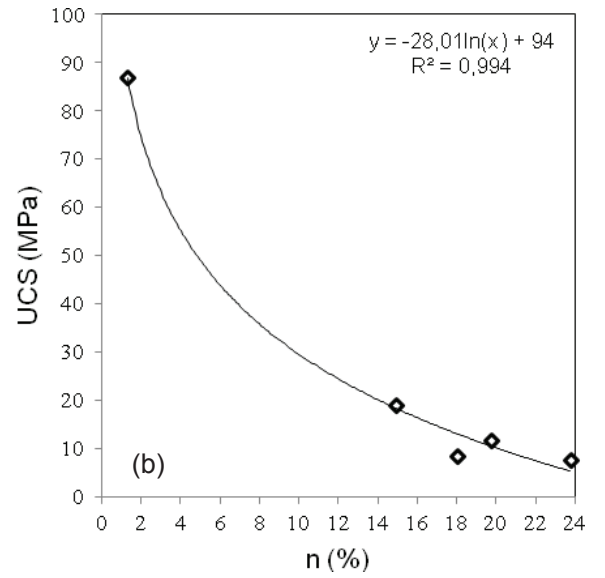
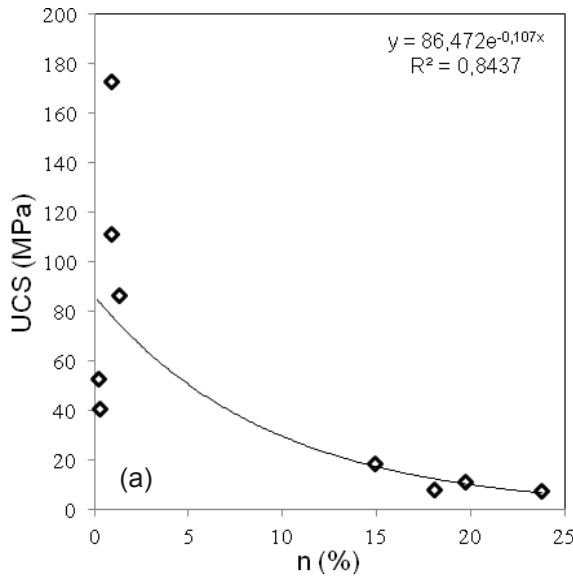
Şekil 4. Görünür porozitenin $UCS/Is_{(50)}$ oranına etkisi; eksenel deney (a), kayaçların jeolojik kökenine göre gösterimi (b), çapsal deney (c) ve kayaçların jeolojik kökenine göre gösterimi (d)



Şekil 5. Biyomikritik kireçtaşlarında görünür porozitenin UCS/Is₍₅₀₎ oranına etkisi

UCS ile n (%) arasında negatif bir ilişki olduğu yaygın olarak bilinmekte olup, UCS arttıkça n (%) değeri aynı kayalar için düşmektedir. Sabatakakis vd (2002) ve Tuğrul (2004) UCS ve n (%) arasında üstel bir ilişki olduğunu, Tuğrul ve Zarif (1999) ise bu parametreler arasında lineer bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada tüm n (%) değerleri ile UCS değerleri (Şekil 6a)

ve n>%1 değerleri ile UCS değerleri (Şekil 6b) arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Her iki şekilde de UCS değerleri azaldıkça n (%) değerlerinde bir artış söz konusu olmuştur. Ancak tüm n (%) değerleri ile UCS değerleri arasında belirlenen determinasyon katsayısı (R²=0.84), n>%1 ile UCS arasında elde edilen katsayıdan (R²=0.99) düşük çıkmıştır.

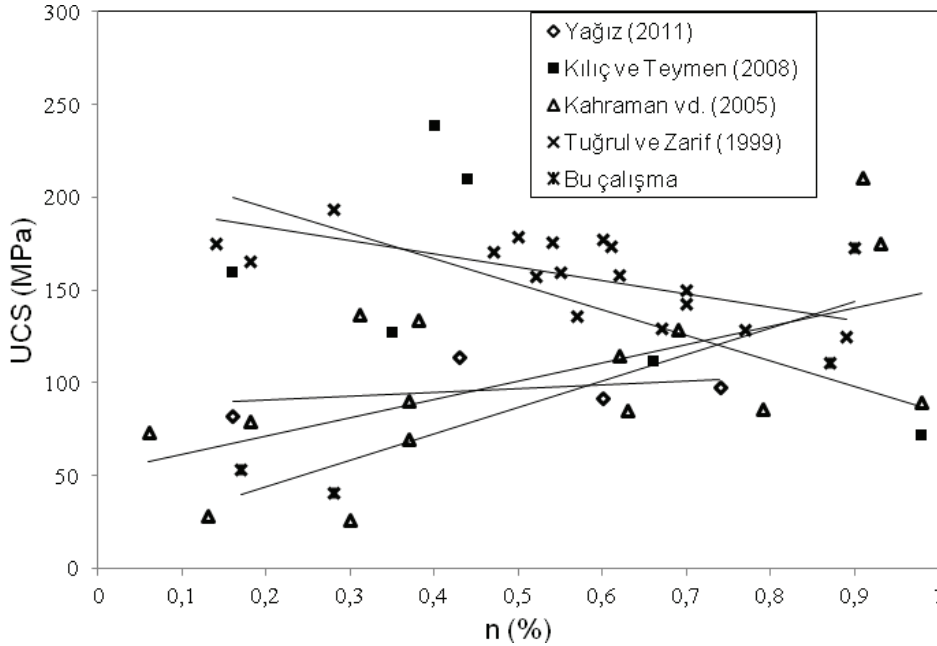


Şekil 6. Görünür porozite ile UCS arasındaki ilişki; tüm veriler (a) ve n > %1 için (b)

Şekil 6a'daki ilişkinin düşük çıkmasının nedeninin dört kayaca ait n değerinin %1'den küçük olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Veri sayısı artmasıyla veya $n < \%1$ olan kayaç sayısının artmasıyla bu ilişkinin ($R^2=0.84$) daha fazla düşebileceği anlaşılmaktadır. Birinci şekilde (Şekil 6a) en yüksek katsayı üstel fonksiyon ile elde edilirken, ikinci şekilde (Şekil 6b) logaritmik ilişki en yüksek determinasyon katsayısını vermiştir. Ancak, Şekil 6b'de veri sayısı az olduğundan (5 veri) elde edilen eşitliğin güvenilir olmadığı düşünülmüştür. UCS ile $n > \%1$ değerleri arasındaki ilişki, farklı bölgelerden alınan ve farklı n içeriklerine ($> \%1$) sahip daha fazla kayaç için kontrol edilmesi önerilmektedir.

Kahraman vd (2005) düşük n (%) içeren kayaçların daha yüksek dayanıma sahip olabileceğini ifade etmişlerdir. Aynı tür kayaç için Kahraman vd (2005) tarafından ifade edilen durumun söz konusu olabileceği düşünülmüştür. Ancak, bu çalışmada n değeri %1'den daha düşük olan kayaçların UCS değerleri 40.7 ile 172.8 MPa arasında değişmiştir. Çünkü farklı jeolojik kökene (magmatik ve metamorfik) ve mineralojik içeriğe sahip kayaçlar bir arada değerlendirilmiştir. Literatürden farklı olarak $n < \%1$ değerleri ile UCS arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı ortaya çıkmış yani UCS arttıkça

n (%) değerlerinin de arttığı gözlenmiştir (Şekil 7). n değeri %1'in altında olan kayaçların farklı UCS değerlerine sahip olabileceğini doğrulamak için, literatürden yararlanılmıştır (Tuğrul ve Zarif, 1999; Kahraman vd, 2005; Kılıç ve Teymen, 2008; Yağız, 2011). Bu çalışmadan ve literatürden n değeri %1'in altında olan 46 farklı kayaç verileri değerlendirilmiştir (Şekil 7). Şekilden görüleceği gibi $n < \%1$ ile UCS arasında bir değişken artarken diğer değişken azalmakta veya artmakta olduğundan bir ilişki varlığından söz etmek mümkün değildir. Dolayısıyla sadece $n < \%1$ değerleri ile UCS tahmininin güvenilir olmayacağı bu çalışmadan anlaşılmıştır. Diğer yandan UCS ve n arasında beklenen negatif ilişki Tuğrul ve Zarif (1999) ve Kılıç ve Teymen (2008) verilerine göre elde edilmiştir. Kılıç ve Teymen (2008) verilerine göre (6 veri) UCS ile $n < \%1$ değerleri arasında orta derecede üstel bir ilişki olmasına rağmen $R^2=0.54$, $n < \%1$ için UCS değerleri 72 ile 239 MPa gibi geniş bir aralıkta değişmiştir. Tuğrul ve Zarif (1999) verilerine göre (17 veri) UCS ile $n < \%1$ değerleri arasında orta derecede lineer ($R^2=0.49$) ilişki gözlenmiş olup, UCS değerleri 125 ile 193 arasında değişmiştir. UCS değerleri arasındaki değişimin az olmasının nedeninin, yazarların benzer özellikteki kayaçlarda (granitik kayaçlar) çalışma yaptığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Porozitesi %1'in altında olan kayaçlar ile UCS değerlerinin karşılaştırılması

UCS değerleri ile çapsal ve eksenel $Is_{(50)}$ ve n (%) değerleri arasında anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir (Çizelge 5). Çizelgeden görüleceği gibi, çapsal $Is_{(50)}$ yönteminin eksenel yöneme göre daha yüksek determinasyon katsayısına

sahip olması, UCS tahmininde daha güvenilir olabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, tüm n (%) değerleri ile UCS arasında anlamlı bir ilişki çıkmasına rağmen, $n > \%1$ değerlerinin UCS tahmininde daha iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. UCS Tahmini İçin Regresyon Eşitlikleri ve Determinasyon Katsayıları

Şekil	Eşitlikler		R ²
2a	$UCS = 21.398Is_{(50)} - 0.6553$	(çapsal)	0.96
3a	$UCS = 20.418 Is_{(50)} - 5.1459$	(eksenel)	0.89
6a	$UCS = 86.472e^{-0.107n}$	(tüm n değerleri)	0.84
6b	$UCS = -28.01\ln(n)+94$	($n > \%1$)	0.99

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 3'ü magmatik, 2'si metamorfik ve 4'ü tortul olmak üzere 9 farklı kayaç için tek eksenli basınç dayanımı (UCS), eksenel ve çapsal nokta yükü dayanım indeksi ($Is_{(50)}$) ve görünür porozite (n) deneyleri yapılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımının tahminine yönelik basit regresyon analizleri yapılmıştır. Analizlere göre; çapsal nokta yükü dayanım indeksinin eksenel yöneme göre tek eksenli dayanımın tahmininde daha güvenilir olduğu görülmüştür. Tüm n (%) değerleri ile tek eksenli basınç dayanım değerleri arasında anlamlı bir ilişki olmasına rağmen, n değeri %1'in üzerinde olan kayaçların tek eksenli basınç dayanım tahmininde daha güvenilir olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. n değeri %1'in altında olan kayaçların tek eksenli basınç dayanımı oldukça geniş bir aralık sunduğundan, tek eksenli basınç dayanımı tahmininde tek başına yeterli olmayacağı kanısına varılmıştır. Bu çalışmadan ve literatürden n değerleri %1'in altında olan toplam 46 farklı kayaç değerlendirilmiş, n (%) ve UCS arasındaki ilişki araştırılmıştır. Tek eksenli basınç dayanım değerlerinin artması durumunda aynı kayaçların %1'in altındaki n değerlerinde her zaman bir azalma olmayıp aksine arttığı görülmüştür. Aynı isme veya benzer mineralojik içeriğe sahip kayaçlarda tek eksenli basınç ve porozite değerleri arasında beklenen negatif ilişki gözlemlendiği gibi, porozitenin tek eksenli basınç dayanımı üzerindeki etkisinin tam anlamıyla anlaşılabilmesi için ilave çalışmalara ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu çalışmada ayrıca, "düşük dayanımlı" tortul kayaçların görünür porozite değerleri yaklaşık %15'den %24'e çıktığında, UCS/çapsal- $Is_{(50)}$ oranının

yaklaşık 24'ten 11'e düştüğü anlaşılmıştır. Aynı kayaçlar için eksenel yöntemin ($Is_{(50)}$) çapsal yöneme nazaran 1.37 ile 2.80 kat daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun nedeni olarak, çapsal yöntemin tabaka düzlemine paralel yönde uygulanmasının özellikle "çok düşük dirençli" tortul kayaçlarda nokta yükü dayanımının düşmesine yol açtığı düşünülmüştür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, kayaçların laboratuvar ortamına getirilmesinde emeği geçen Maden Mühendisleri Muhammed KARA, Yunus AKYOL, Sinan OCAK ve Selahattin BAKKAL'a ve ayrıca değerli yorumlarından dolayı hakemlere teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Akram, M. and Bakar, M.Z.A., 2007; "Correlation between uniaxial compressive strength and point load index for salt-range rocks", Pak. J. Engg. Appl. Sci. Vol. 1. p. 8.
- Al-Jassar, S.H. and Hawkins, A.B., 1979; "Geotechnical properties of the Carboniferous limestones of the Bristol area; the influence of petrography and chemistry", ISRM Proc. 4th Conf., Montreaux, pp. 3-13.
- ASTM, 1984; "Standart test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens. Soil and rock, building Stones", annual book of ASTM standards 4.08. ASTM, Philadelphia, Pennsylvania.

- Baykasoglu, A., Gullu, H., Canakci, H. and Ozbakir, L., 2008; "Prediction of compressive and tensile strength of limestone via genetic programming", *Expert Systems with Applications* 35, 111–123.
- Bieniawski, Z.T., 1975; "The point-load test in geotechnical practice", *Engineering Geology*, 9, M lpp.
- Broch, E. and Franklin, J.A., 1972; "The point-load strength test", *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 9(6), 669–676.
- Brook, N., 1985; "The equivalent core diameter method of size and shape correction in point load testing", *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 22(2), 61–70.
- Cargill, J.S. and Shakoor, A., 1990; "Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock", *Int J Rock Mech Min Sci Geo Abstr* 27(6), 495-503.
- Chau, K.T. and Wong, R.H.C., 1996; "Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks", *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 33, 183–188.
- Ersoy, H. and Kanik, D., 2012; "Multicriteria decision-making analysis based methodology for predicting carbonate rocks' uniaxial compressive strength", *Earth Sci. Res. J.* 16(1), 65–74.
- Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A. and Gunaydin, O., 2005; "A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks", *Rock Mech. Rock Engng.* 38(4), 329–343.
- Gokceoglu, C. and Zorlu, K., 2004; "A fuzzy model to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity of a problematic rock", *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 17, 61-72.
- Hawkins, A.B., 1998; "Aspects of rock strength", *Bull. Eng. Geol. Environ.* 57, 17-30.
- Heidari, M., Khanlari, G.R., Kaveh, M.T. and Kargarian, S., 2012; "Predicting the uniaxial compressive and tensile strengths of gypsum rock by point load testing", *Rock Mech Rock Eng* 45, 265–273.
- ISRM, 1981; "Basic technical description of rock masses", *International Journal of Rock Mech. and Mining Sci. and Geomech. Abst.* 18, 85–110.
- ISRM, 1985; "Point load test, suggested method for determining point load strength", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech Abstr.* 22, 55–60.
- ISRM, 2007; "The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods", *International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.* 628 pp.
- Kahraman, S., 2001; "Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock", *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 38, 981–994.
- Kahraman, S., Gunaydin, O. and Fener, M., 2005; "The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index", *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 42, 584-589.
- Kahraman, S. and Yeken, T., 2010; "Electrical resistivity measurement to predict uniaxial compressive and tensile strength of igneous rocks", *Bull. Mater. Sci.*, 33 (6), 731–735.
- Karaman, K., Erçikdi, B., K., Cihangir, F. ve Kesimal, A., 2011; "Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde Schmidt Çekici sertlik tayini değerlendirme yöntemlerinin incelenmesi", 22. Dünya Madencilik Kongresi, 11-13 Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı, 87-94.
- Karaman, K., 2011; "Taşönü (Trabzon–Araklı) kalker ocağındaki şevlerin duraylılık açısından incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 123 s.
- Kılıç, A. and Teymen, A., 2008; "Determination of mechanical properties of rocks using simple methods", *Bull. Eng. Geol. Environ* 67, 237-244.
- Mishra, D.A. and Basu, A., 2012; "Use of the block punch test to predict the compressive and tensile strengths of rocks", *Int J Rock Mech Min Sci* 51, 119–127.
- Moh'd, B.K., 2009; "Compressive strength of

- vuggy oolitic limestones as a function of their porosity and sound propagation”, *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences* 2(1),18–25.
- Norbury, D.R., 1986; “The point load test. In A.B. Hawkins (ed.), *Site Investigation Practice: Accessing BS 5930*”, Geological Society, London, 325-329pp.
- Palchik, V. and Hatzor, Y.H., 2004; “The influence of porosity on tensile and compressive strength of porous chalks”, *Rock Mech Rock Eng* 37(4), 331–341.
- Quane, S.L. and Russel, J.K., 2003; “Rock strength as a metric of welding intensity in pyroclastic deposits”, *Eur. J. Mineral* 15, 855-64.
- Romana, M., 1999; “Correlation between uniaxial compressive and point-load (Franklin test) strengths for different rock classes”, 9th ISRM congress, vol 1. Balkema, Paris, 673-676.
- Sabatakakis, N., Tsiambaos, G. and Gerochristodoulou, D., 2002; “Estimation of physical and mechanical parameters of rock material”, *Bull. of the Public Works Central Laboratory of Greece (KEDE)*, pp. 3–8. special edition.
- Singh, T.N., Kainthola, A. and Venkatesh, A., 2012; “Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types”, *Rock Mech Rock Eng* 45(2), 259–264.
- Sonmez, H., Gokceoglu, C., Medley, E.W., Tuncay, E. and Nefesilioglu, H.A., 2006; “Estimating the uniaxial compressive strength of a volcanic bimrock”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 43 (4), 554-561.
- Tsiambaos, G. and Sabatakakis, N., 2004; “Considerations on strength of intact sedimentary rocks”, *Eng Geol* 72, 261–273.
- Topal, T., 2000; “Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamalarda karşılaşılan problemler”, *Jeoloji Mühendisliği* 24(1), 73-86.
- Tugrul, A. and Zarif, I.H., 1999; “Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey”, *Engineering Geology* 51, 303–317.
- Tugrul, A., 2004; “The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey”, *Eng. Geol.* 75, 215–227.
- Yagız, S., 2011; “P-wave velocity test for assessment of geotechnical properties of some rock materials”, *Bull. Mater. Sci.*, 34, 947–953.

SANAL GERÇEKLİĞİN DÜNYA MADENCİLİĞİNDEKİ YERİ VE ÜLKEMİZ İÇİN FIRSATLAR

Virtual Reality in the World Mining and Opportunities for Turkey

S. Yasin KILLIOĞLU*
Bahtiyar ÜNVER**
Güneş ERTUNÇ***

ÖZET

Bu makale, dünya genelinde oldukça popüler hale gelmiş sanal gerçeklik (SG) sistemlerinin madencilik endüstrisinde kullanımına dair dünyadan örnekleri ve Türkiye'deki olası çalışma alanlarını kapsamaktadır. Sanal gerçeklik sistemleri, teknolojinin hızla ilerlemesi ve erişilmesi geçmişe kıyasla kolay olduğu için birçok alanda temel eğitim aracı haline gelmiştir. Günümüzde iş güvenliği eğitiminin hayati önem taşıdığı madencilik dalında da kullanılması her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Teknolojik gelişmelerin çeşitliliği sayesinde sadece iş güvenliği eğitimine değil, diğer birçok madencilik eğitimi ve takip ekipmanı ile bütünleştirilebilir hale gelmiş olan sanal gerçeklik sistemleri, yer altı veya yer üstü maden çalışmaları ayırt edilmeksizin, her türlü personelin çalışma sahasına girmeden önce temel bir eğitim almasını sağlayabilecek şekilde uyarlanabilmektedir. Bu sistemler, doğru yatırımlar ve atılımlar eşliğinde madencilik için gelecekte çok daha önemli ve gelişmiş yardımcı araçlar olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sanal gerçeklik, madencilik, iş sağlığı ve güvenliği

ABSTRACT

In this paper, the usage of virtual reality (VR) systems in the world mining industry which have gotten quite popular recently, and the opportunities for these systems' applicability in Turkey are covered. Virtual reality systems are now a crucial part of the most health and safety education programs and beginning to be more important for the mining industry too since technological advancements made it easier to use these methods. Due to the very wide range of the technological advancement varieties, virtual reality systems are not only used for health and safety education, but also for many more areas like monitoring and simulation systems. It is possible to adapt virtual reality systems to train the mine personnel with the basic principles before they start working for both underground and surface mining operations. Implementation of virtual reality systems in Turkish mining industry will play an important role in both education, increasing work efficiency and risk management.

Keywords: Virtual reality, mining, job health and safety

* Araş. Gör. Hacettepe Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Beytepe/ANKARA, syasink@hacettepe.edu.tr

** Prof. Dr., Hacettepe Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Beytepe/ANKARA

*** Dr., Hacettepe Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Bölümü, Beytepe/ANKARA

1. GİRİŞ

Sanal Gerçeklik sistemleri (SG), kullanıcıların bazı temel teknolojik ekipmanları kullanarak bilgisayarlar aracılığıyla yaratılan sanal ortamlarda söz konusu sistemin türüne bağlı olarak gerçek zamanlı bir şekilde etkileşim kurabileceği ve bu etkileşimin sonuçlarını yine gerçek zamanlı olarak görebilecekleri sistemlerdir. Bu ortamlarda kullanıcılar bazı CAD modelleriyle etkileşime girebilmekte, bilimsel bir takım benzetimleri sanal olarak gerçekleştirebilmekte veya 3 boyutlu (3B) bir veri tabanını gerçekmişçesine inceleyebilmektedirler. Yakın geçmişe kadar belli alanlarda kısıtlı olarak kullanım imkanı bulabilmiş bu sistemler, teknolojinin hızlı gelişimi nedeni ile günümüzde çok daha yaygın bir şekilde kullanılmaya ve benimsenmeye başlamıştır.

1.1. Sanal Gerçeklik Çeşitleri

Genel olarak eğlence ve bilişim sektörlerinde hızla sahiplenilmiş olan sanal gerçeklik sistemlerinin çeşitlenmeye başlaması ve göreceli olarak kolay elde edilebilir olması diğer pek çok alanda da kullanılmasını hızlandırmıştır. Sanal gerçeklik sistemleri Brill (1993) tarafından temel olarak 6 ana sınıfa ayrılmıştır;

1.1.1. Çevreleyen Birincil Kişi

Bu sistem çeşidinde kullanıcı, sanal gerçeklik hissiyatını yaratacak ekipmanla tamamen koordine bir şekilde ilişkidir: Gerçekte var olmayan dünyayı görmesini sağlayacak görüntü sağlayıcı donanımlar, o dünyaya varlığını bildirebilmesi için kullanacağı elektronik sinyaller yollayan eldivenler, kontrol ekipmanları, 3B ortam sesi sağlayabilecek ses aygıtları aracılığıyla dış dünyayla ilişkisi kesilerek kullanıcı tamamen sanal bir dünyanın içine hapsedilir.

1.1.2. Taksi Deneyimi

Taksi deneyimi olarak adlandırılan bu benzetim sisteminde, araba benzeri bir araç içerisinde oturan kullanıcıya görüntüler ve sesler aktararak onu sanki bir aktivitenin parçasıymış gibi hissettirir. Daha çok eğlence amaçlı kullanılan bu sistemlerin çeşitli değişikliklerle sanal turlar haline getirilip çalışılan maden sahasını tanıtmaya amaçlı kullanılması mümkündür.

1.1.3. Pencereden İzleme

Çoğu kullanıcının günlük hayatından alışkın olduğu bu sistem, kullanıcının klavye ve fare gibi temel bilgisayar donanımlarını kullanarak 3B görüntü sağlayabilen bir ekran üzerinden yaratılmış sanal gerçeklik dünyasıyla etkileşime girmesidir. Günümüzde bilgisayarların artık hayatın vazgeçilmez birer parçası haline gelmiş olması nedeniyle yazılım desteği ve basit bazı donanım eklentileriyle sanal gerçekliğin en kolay görülebildiği ortamlardır.

1.1.4. Ayna Dünya

Kullanıcıların kendi görüntülerini bilgisayar ekranında görerek bu görüntüler üzerinde değişiklikler yapabildikleri göreceli olarak daha kısıtlı bir kullanım alanına sahip sistem olan ayna dünya (Mirror World), diğer sanal gerçeklik sistemlerine göre daha az kullanılan bir ortamdır.

1.1.5. Waldo Dünyası (Waldo World)

Uzaktan kumanda sisteminin, geliştirilerek sanal gerçeklik sistemi haline getirilmesiyle, dünyada kullanıcı bulunduğu yerde kilometrelerce uzaklıktaki bir nesneyle o nesneye ait aktarılmakta olan görüntü üzerinden uzaktan kumanda benzeri sistemlerle komutlar göndererek etkileşimlerde bulunur.

1.1.6. Mağara Sistemi

Kullanıcı, etrafı tamamen ekranlarla çevrili kapalı bir alanın ortasında bulunurken bu ekranlardan verilen 3B görüntü ve stereo sesler sayesinde kendisini gerçek bir ortamdaymış gibi hissetmektedir (Şekil 1).

Bahsedilen bu ana 6 sistemin tamamı olmasa da büyük çoğunluğu madenler için teorikte kullanım sahaları barındırmaktadır. Ancak, özellikle teknoloji gelişiminin üssel bir hızla arttığı dönemimizde, şu an belki bahsi geçmeyen sistemlerin bile yakında popülerleşebileceği göz ardı edilmemelidir.

1.2. Madencilikte Sanal Gerçeklik Sistemlerinin Kullanımı

Sanal gerçekliğin madencilikte kullanılabileceği ve kullanılmakta olduğu temel alanlar şunlardır, (Kızıl, 2007);



Şekil 1. Mağara (CAVE) Sistemi (Coal Services Pty Limited (CSPL)).

1. Veri görselleştirme,
2. İş güvenliği ve eğitimi,
3. Çevresel gözlem uygulamaları,
4. Kaza ortamlarının değerlendirme için yeniden oluşturulmaları,
5. Benzetim uygulamaları,
6. Risk analizleri/değerlendirmeleri,
7. Tehlike farkındalık uygulamaları.

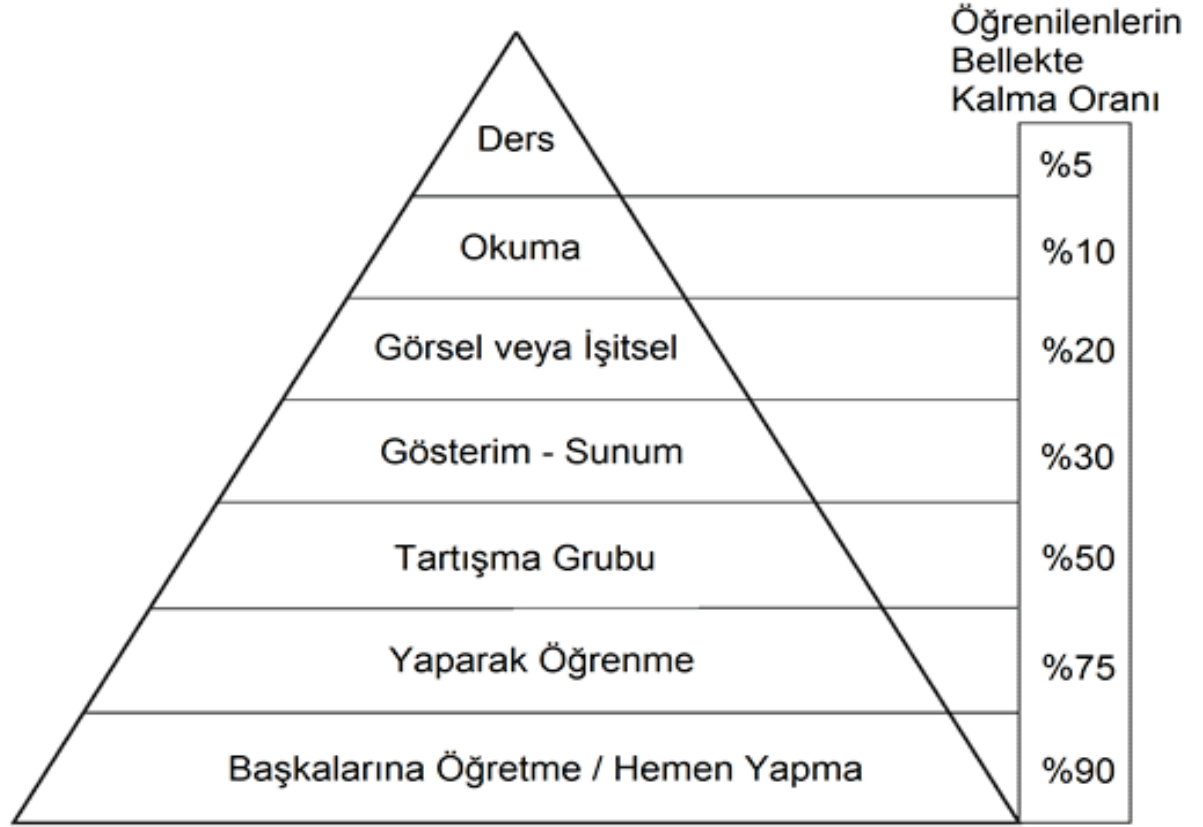
Sanal gerçeklik sistemlerine erişim kolaylaştıkça ve önemi kavrandıkça, bu kullanım alanlarına daha birçok yeni alanın ekleneceği tahmin edilmektedir.

Madencilik gibi çalışma ortamlarında hayati tehlikeler olasılığı yüksek olan iş sektörlerinde özellikle iş güvenliğinden alınan verim çok önemlidir. Eğitim sırasında ortaya çıkmayan eksiklikler, çalışmalar sırasında karşılaşılabilecek olan yanlış yaparak öğrenme sürecinin olumsuz getirileri olan iş gücü kaybı, iş verimi kaybı ve ortaya çıkan güvenlik riskleri telafisi olmayan sonuçlara yol açmaktadır.

Bu yüzden özellikle madencilik endüstrisinde faaliyet gösterecek çalışanların aldıkları iş güvenliği ve eğitimi sırasında elde edebilecekleri bilgilerin geleneksel yöntemlerden ziyade benzetim temelli sistemlerle kazanılması, yaparak öğrenmenin dinleyerek öğrenmeden daha etkili olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu bilgilerin çok daha kalıcı olmasını sağlayacaktır (Şekil 2).

2. DÜNYA MADENCİLİĞİNDE SANAL GERÇEKLIK

Sanal gerçeklik sistemlerinin potansiyeli anlaşıldığından beri, dünya genelindeki madencilik faaliyetlerine uyarlama çalışmaları büyük bir artış göstermiştir. Özellikle akademik kurumlar tarafından deneysel olarak araştırılmakta olan bu sistemler, deneme yanılma yöntemleri sonucunda gerçek endüstride de kullanılabilir hale gelmiştir.



Şekil 2. Öğrenme piramidi (National Training Laboratories, 1954'ten değiştirilerek)

2.1.Sanal Gerçeklik Sistemlerini Madencilikte Tercih Etme Sebepleri

Dünyada sanal gerçeklik sistemlerinin kullanılmasını özendiren başlıca niteliklerinden bazıları şunlardır;

- SG sistemleri yapılan eğitim, yaparak/yaptırarak öğretme kapsamına girdiğinden dolayı bu şekilde öğrenilen bilgiler ve elde edilen deneyimler geleneksel iş güvenliği ve eğitimi derslerinden çok daha fazla akılda kalıcı olmaktadır,
- Sanal ortamlarda gerçekleştirilen bu çalışmalar gerçek çalışma alanlarını işgal etmediğinden eğitimler/benzetimler devam ettiği süre boyunca ilgili çalışma alanında üretim devam edebilir, böylece iş saati kayıpları engellenmiş olur,
- Tehlikeli bulunduğu için gerçekleştirilemeyen eğitimler sorunsuzca denenip uygulanabilir,
- Gece veya gündüz saatlerinde

kullanılabildiğinden çalışma saatlerinden bağımsız olarak uygulama imkanları sunar,

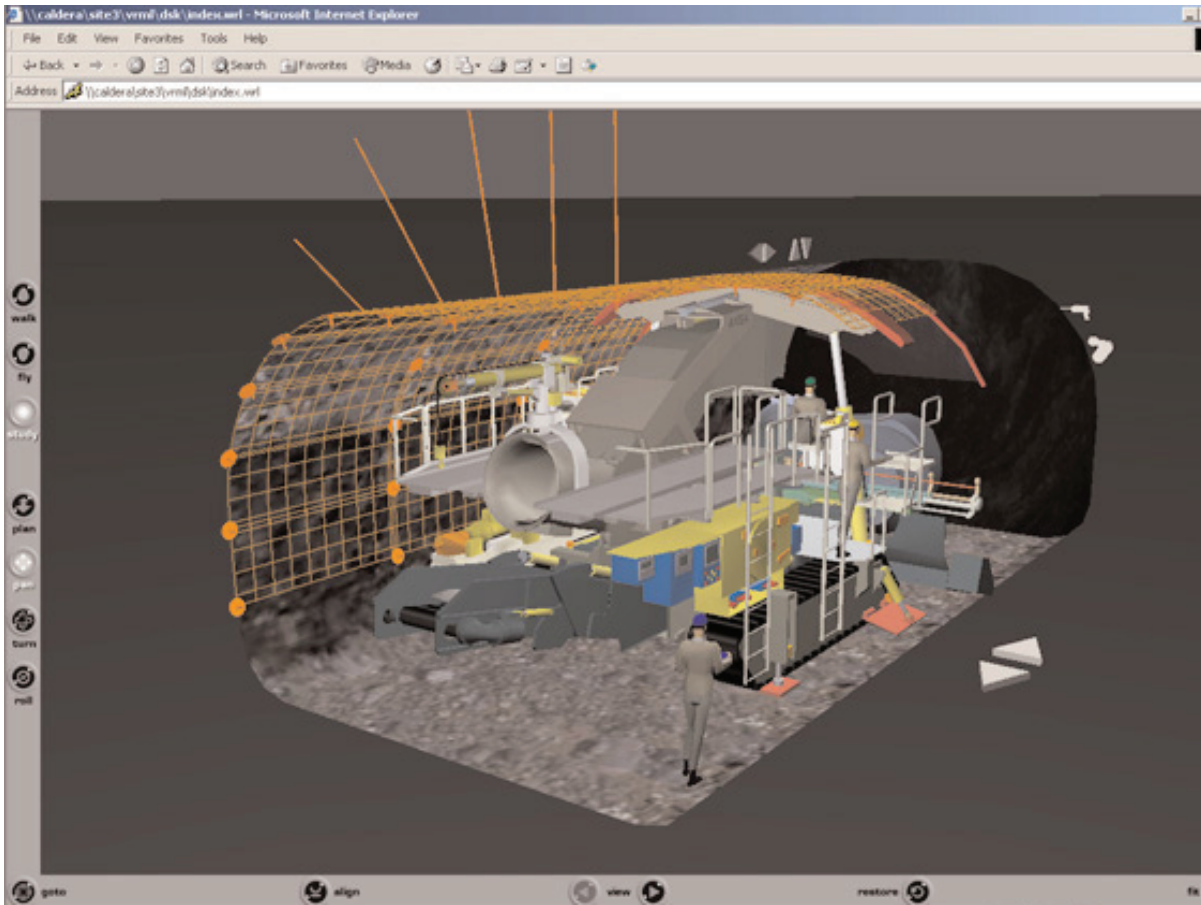
- Gerçek bir ortamda gerçekleştirilmediği için hava şartlarından bağımsız olarak çalışmaya uygundur, kötü hava koşullarında dahi kapalı ortamlarda eğitimler/benzetimler gerçekleştirilebilir,
- Bilgisayar tabanlı uygulamaların getirisi olarak gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları sayısal olarak alınabileceği gibi, bu sonuçlar genel bir zaman dilimi üzerinde sıralanarak karşılaştırmalara olanak sağlayabilmektedir. Böylece, eğitime/benzetime tabi tutulan personelin ilgili çalışmaya dair performansı kayıt altında tutulup, belli bir puanı geçemeyen çalışana gerekli yaptırımlarda bulunulabilir,
- Gerçeğe yakın bir ortamda ekipmanlarla ve çalışma ortamıyla etkileşime giren personel gerçek çalışma ortamında özgüveni yerinde ve ne yaptığını bilerek görevlerini yerine getirebilir.

Belirtilen bu olumlu sebeplerin ışığında dünyanın önde gelen bazı akademik kurumları ve madencilik kuruluşları sanal gerçeklik sistemlerini madencilik faaliyetleri ile bütünleştirmek için girişimlerde bulunmuşlardır. Bunlardan bazıları şunlardır, (Mallett ve Unger, 2007),

- Avustralya Kamu Bilimsel Araştırmalar Organizasyonu'nun geliştirdiği yer altı uzun ayak sistemlerinden gerçek zamanlı olarak alınan verilerin beslendiği, ilgili tüm personelin internet üzerinden ulaşabildiği bir veri havuzu (LASC Longwall Automation),
- Queensland Üniversitesi'nde ortaya konulan kaya mekaniği laboratuvarlarındaki ekipmanlardan yer altı havalandırma laboratuvarlarına kadar geniş bir yelpazede pek çok test cihazının sanal benzetimleri,
- Batı Avustralya Endüstri ve Doğal Kaynaklar Bölümü'nün hazırlamış olduğu, hali hazırda

meydana gelmiş kazaların ortamlarını sayısal fotogrametri yardımıyla 3B etkileşimli sanal ortamda tekrar oluşturularak kaza sebeplerini daha iyi anlamaya yönelik çalışmalar,

- Alman DSK (Deutsche Steinkohle AG) firmasında eğitim amaçlı geliştirilmiş olan sanal şilt tahkimat sistemleri ve uzun ayak saban rehber sistemleri (Şekil 3),
- AITEMIN ve Barredo Yer Altı Deney Merkezi ortaklığında geliştirilen sanal roadheader; bu sistemle galeri sürülürken kontrol edilen gerçek bir roadheader'ın kontrolünün benzetişiminin gerçekleştirilebilmesi,
- Virginia Politeknik Enstitüsü'nün geliştirdiği Roadheader benzetimi ve AMADEUS isimli, verilen şartlara bağlı olarak 3B bir yer altı görseli sağlayan benzetim ekipmanı,



Şekil 3. Alman DSK firmasının geliştirdiği sanal şilt sistemi (ParallelGraphics, 2004).

• Amerikan Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı'nın geliştirmiş olduğu "ciddi oyunlar": Bazı senaryolara sahip bu oyunlarda kullanıcı sanal olarak yaratılmış 3B yer altı ortamında elindeki sanal haritayı kullanarak belli noktalara gitmeye çalışmaktadır.

• New South Wales Üniversitesi'nin geliştirdiği kapsamlı sanal gerçeklik eğitim sistemleri:



Şekil 4. Vardiya öncesi kamyon teftişi eğitiminden örnek görüntüler (Coal Services Pty Limited (CSPL)).

a) Kiriş ve Tavan Duraylılığı Eğitimi: 15'e kadar katılımcının aynı anda katılabildiği 5 ile 40 dakika arası süren bu eğitimde yer altı çalışmalarına yeni olan çalışanlara sanal bir çalışma sahası üzerinde kiriş ve tavan duraylılığına dair bazı sorunlar gösterilip bunlara alınan cevaplar üzerinden notlandırmalar yapılmaktadır.

b) Tehlike Farkındalık Eğitimi: 15'e kadar katılımcıya aynı anda hizmet verebilen bu modülde yer altında yeni çalışmaya başlamış katılımcılar hedeflenmektedir. Bu çalışanlara zamanla birikip tehlike oluşturabilecek unsurlara karşı hassasiyet kazandırılmaya çalışılır.

c) Enerji Kesilmesi ve Yalıtım İşlemleri Eğitimi: Endüstride çalışmaya yeni başlamış olanlara yönelik bir diğer modül olan Yalıtım Prosedürler Eğitimi'nde, herhangi bir arıza ve kaza durumunda, personelin çalışan/çalışmayan ekipmanlarla enerji kaynakları arasındaki bağlantıları kesip yalıtım sağlayarak daha büyük tehlikelerin önüne geçmesi bilincini kazandırmak bu sistemde hedeflenen birincil görevdir.

d) Vardiya Öncesi Kamyon Teftişi Eğitimi: Hem deneyimli, hem de işe yeni başlamış personelin tabi tutulabileceği bu modülde, eğitimi alan kişi

çalıştırılmaya hazır durumda bir yük kamyonu ile test edilir. Bu kamyonu rastgele seçilmiş 40 adet tehlike unsuru bulunmaktadır ve teste tabi tutulan kişinin bunları bulup düzeltmesi istenilmektedir (Şekil 4).

e) Yardımsız Yeraltı Tahliye Eğitimi: Özellikle yeni başlayanlara yönelik olarak uygulanması gereken bir diğer önemli modül olan kendi başına

yer altından çıkabilme eğitiminde katılımcılar herhangi bir tehlike anında solunum cihazlarını nasıl kullanıp en hızlı ve güvenli şekilde çalışma alanlarını acilen tahliye edebilecekleri konusunda eğitilir.

3. TÜRKİYE İÇİN ÖNERİLER

Sanal gerçekliğin dünyada madencilğe hızla uyarlandığı ve gündün güne benimsenmeye başladığı bu dönemde, benzer uygulamalar Türkiye'deki madencilik çalışmaları ile de bütünleştirilmelidir. Kısa vadede, normal eğitim yöntemlerinden maliyeti daha yüksek olduğu için sanal gerçeklik sistemlerini göz ardı etmek, uzun vadede çok daha ciddi maddi ve manevi kayıpları kabul etmek manasına gelebilir.

Türkiye için başlangıç seviyesinde sanal gerçeklik sistemlerine yapılması mantıklı olabilecek yatırımlar şunlardır;

3.1. İş Müfettişlerine Yönelik Programlar

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı bünyesinde görev yapan iş müfettişlerine yardımcı olacak, hem yeni başlayanlara deneyim kazandırma amaçlı hem de belli bir süre dahilinde

düzenli olarak tekrarlanması gereken sanal gerçeklik eğitim programları oluşturulmalıdır. Bu programlarda madeni denetlemeye giden iş müfettişi, gerçek bir çalışma sahasında karşılaşabileceği tehlikelerle güvenli bir ortamda karşı karşıya gelerek geleneksel bir derste kazanabileceği deneyimden çok daha fazlasını kazanacak, olası bir tehlike anında paniğe kapılmadan öğrendiklerini eyleme dökebilecektir.

3.2. Teknik Nezaretçilere Yönelik Programlar

İş müfettişlerine uygulanan programa benzer şekilde, teknik nezaretçilere de görevlerine başlamadan önce uygulanan kurs ve sınav aşamaları sanal gerçeklik sistemlerine taşınarak nezaretçilerin yapacaklarını daha iyi bir şekilde kavramaları sağlanabilir. Ayrıca daha sonra belli senaryolar üzerinden çeşitli maden çalışmalarını sanal olarak nasıl denetleyecekleri bir rehberlik sistemi şeklinde onlara yardımcı sistemler olarak sunulabilir.

3.3. Makine Operatörlerine Yönelik Programlar

Pilot olarak seçilecek bazı işletmelerde, kritik yerlerde görev yapan çalışanların, özellikle makine operatörlerinin, iş eğitimlerini en temel düzeyden başlayarak sanal gerçeklik sistemleriyle yeniden vererek elde edecekleri iş bilgilerinin daha kalıcı olmasını sağlamak mümkün olabilir. Hali hazırda dünyada kullanılan yük kamyonu benzetimleri bu konuda ülkemizde hızlı bir şekilde uyarlanabilecek programlar olabilir. Ek olarak diğer makine benzetimleri de zaman içerisinde hazırlanarak operatörler için çok daha etkili ve elde edilen bilgilerin kalıcı olacağı senaryolar ortaya çıkarılabilir. Bu senaryolar sonucu testlere giren çalışanların aldığı puanlar kaydedilerek belli bir barajın üzerine çıkmadıklarında çalışmalarına ara verilerek eğitimlerini baştan almaları sağlanabilir.

3.4. Genel Olarak Maden İşletmesi Personeline Yönelik Programlar

Madencilik faaliyeti gösteren işletmelerdeki iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri geleneksel ders yöntemlerinden 3B sanal gerçeklik sistemlerine taşınarak, hem daha hızlı, hem de daha kalıcı bir iş güvenliği eğitimi verilebilir.

Madenlerde çalışan farklı disiplinlerdeki teknik elemanların yeni teknolojiyi öğrenme ve

gelişmelere ayak uydurabilmelerini sağlamak açısından sanal gerçeklik sistemleri bir meslek içi eğitim yöntemi olarak kullanılmalıdır.

3.5. Üniversitelerdeki Maden Mühendisliği Bölümü Öğrencilerine Yönelik Programlar

Üniversitelerde Maden Mühendisliği Bölümlerinde öğrenim gören öğrencilerin gördükleri ders kapsamı genişletilerek, iş hayatına atılmadan önce sanal gerçeklik sistemleri kullanılarak katılacakları gerçekçi benzetimler, mesleki hayatlarını sağlıklı bir şekilde yönlendirmeleri açısından çok etkili olacaktır. Ayrıca yaparak öğrenmenin okuyarak öğrenmeden daha kalıcı bilgiler edindirdiği düşünülürse, ders içeriklerinin öğrenciler tarafından daha iyi kavranacağı da düşünülmelidir.

4. SONUÇLAR

Teknolojideki gelişimin hızı daha da arttıkça ve sanal gerçeklik sistemlerine kaynaklık eden donanımlara ulaşım kolaylaştıkça, bu sistemlerin kullanım alanları genişlemekle kalmayacak, şu an hali hazırda kullanılmakta olduğu alanlarda da geleneksel yöntemlerin yerini alarak birincil araçlar haline geleceklerdir.

Birincil araçlar haline gelen sanal gerçeklik sistemleri madencilik endüstrisinden alacağı desteklerle daha detaylı senaryolarla ve daha duruma özgü programlarla günden güne ilgi çekici bir konuma kavuşacaktır. Bilgisayarlarla iç içe çalışılan günümüz dünyasında sanal gerçeklik sistemlerinin test çalışmalarına tabi tutulan insanların bu yeni yöneme ilgisinin yüksek olması, sanal gerçeklik yoluyla da olsa bazı sorunlarla başa çıkabileceklerini görmelerine bağlı olarak artan özgüvenlerinin bir sonucudur.

Daha henüz başlangıç aşamalarında olduğu düşünülen bu teknolojinin önümüzdeki 10 yıllık dönemde daha da büyük gelişmeler yaşaması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Brill, L., 1993, 'Metaphors for the Traveling Cybernaut,' Virtual Reality World, Cilt 1, Sayı. 1. Coal Services Pty Limited (CSPL), Mines Rescue

Services, <http://www.virtualrealitytrainingsystem.com/>

Deutsche Steinkohle AG (DSK), Parallel Graphics, Virtual reality in the mining industry, http://www.parallelgraphics.com/l2/bin/dsk_case.pdf

Kızıl, M.S., 2007, Virtual Reality - A toy or a new way of training., 20. Uluslararası Türkiye Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, IMCET2007, Türkiye, s.247-255

LASC Longwall Automation, <http://www.lascautomation.com/>

Mallett, L., Unger, R., 2007, Virtual Reality in Mine Training, 2007 SME Annual Meeting and Exhibit, Denver, Colorado.

NTL Institute for Applied Behavioral Science, 300 N. Lee Street, Suite 300, Alexandria, VA 22314. 1-800-777-5227, 1954, <http://homepages.gold.ac.uk/polovina/learnpyramid/about.htm>

ParallelGraphics, Virtual reality in the mining industry, <http://www.parallelgraphics.com/print/products/sdk/success/dsk/>

MERMER TOZ ARTIKLARI ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNE FALCON GRAVİTE KONSANTRATÖRÜN ETKİSİ

Effect of the Falcon Gravity Concentrator on the Improvement of Properties of Marble Powder Wastes

Z. Ebru SAYIN*
Uğur AKSOY**

ÖZET

Çalışmada, -100 µm tane boyutuna sahip mermer toz artıklarının endüstriyel hammadde olarak kullanılabilir özellikleri sağlamada Falcon Gravite Konsantratörün etkisi araştırılmıştır. Mermer toz artıkları içerisindeki safsızlıkların giderilmesi amacıyla Falcon Gravite Konsantratörü – Yaş Manyetik Ayırıcı prosesi uygulanarak elde edilen nihai ürünlerin, kağıt ve boya endüstrilerinde hammadde olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Mermer toz artıklarının belirtilen endüstri kollarında kullanılabilirliği için özellikle tane boyut dağılımı, kimyasal bileşimi, beyazlık ve yağ absorplama değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak, %90'ı 38 µm altında olan mermer tozu atığının 1, 2, 3, 4, 5 olarak verilen, seçilmiş deney parametreleri ile elde edilen konsantre ürünlerin; uygun öğütme teknolojileri ile boyut küçültme işlemine tabi tutulduktan sonra CaCO₃ yüzdelerinin artırılıp, kağıt ve boya sektöründe kullanılabileceği, beyazlık değerlerinin ise uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Falcon konsantratörü; Mermer toz artığı; Kalsit (CaCO₃).

ABSTRACT

In this study, usage as industrial raw material of marble powder waste which have -100 µm grain size in marble factory and, was researched effect of the falcon gravity concentrator on the improvement of properties of marble powder wastes. Paper and paint industry availability as raw material which the final product that obtained for the purpose to eliminate impurity in marble dust waste using by Falcon gravity concentrator - wet magnetic separator process, were investigated. That four features analyzed for research marble dust waste availability in the industrial branches. These features are grain size distribution, chemical composition, whiteness index, oil absorption amounts. In light of this information, parameter is 1, 2, 3, 4, 5 of the products obtained from experiments the whiteness value is acceptable, Increasing the percentage of CaCO₃, products must apply milling process a little. If these conditions are provided, products of this parameter is available in paper and paint industries.

Keywords: Falcon concentrator; Marble dust waste; Calcite (CaCO₃).

* Yrd. Doç. Dr. Afyon Kocatepe Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., AFYONKARAHİSAR
zerkan@aku.edu.tr

** Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., AFYONKARAHİSAR

1. GİRİŞ

Mermer fabrikalarından üretim artışı olarak ortaya çıkan tozların kullanılabilirliği endüstriyel açıdan kazanç olduğu kadar çevresel açıdan da bir sorunun giderilmesi anlamını taşımaktadır. Bu nedenle mermer toz artıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kaynak sağlayacağı gibi bu fabrikaların çevre kirlenici özelliğini de tamamen ortadan kaldıracaktır (Ceylan, 2000).

Mermer toz artıklarının değişik alanlarda kullanılabilmesini belirleyen en önemli özellikler, kimyasal bileşimi, tane boyutu ve renktir. Mermer tozlarının kimyasal bileşimindeki CaCO_3 oranının miktarı, kullanım alanını genişletmekte ve endüstride oldukça fazla ihtiyaç duyulan kalsitin yerine kullanılabilme imkanı oluşturmaktadır. Ancak burada kalsitin yerine kullanılabilme kriteri, yüksek CaCO_3 yüzdesi ve beyazlıktır. Tane boyutu ise kullanılan sektöre göre 1-2 μm 'dan 50-100 μm 'a kadar farklı boyutlarda istenebilmektedir.

Mermer fabrikalarında yapılan gözlemler sonucunda toz artıklarının değerlendirilemediği, hatta bertarafında çevre mevzuatı açısından sorunlar yaşandığı tespit edilmiştir. Çevre dostu, düşük fiyatlı sağlam yapı malzemesi ve endüstriyel hammadde girdisinin popülaritesinin artması yeni araştırmaları da gerektirmektedir. Söz konusu mermer tozu artıkları kullanılarak, standartlara uygun, çevreye zarar vermeyen kullanım alanlarının genişletilmesi artıkların ekonomiye kazandırılması hususunda büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, mermer fabrikasından üretim artışı olarak çıkan -100 μm tane boyutundaki mermer toz artıklarının endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliğini arttırmak amacıyla fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmede Falcon Gravite Konsantratörün etkisi araştırılmıştır.

2. MALZEME ve YÖNTEM

Çalışmada kullanılan mermer tozu Afyonkarahisar ili içerisinde faaliyet gösteren Gençler Mermer San. ve Tic. Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir. Tesisin mermer ürünleri üretimi esnasında; %16,5 neme sahip, %99'a yakın bir kısmı 100 μm tane boyutu

altında kalan, günlük yaklaşık 90 ton ince artık elde edilmektedir. Tikiner tankı çıkışından alınan 140 kg numune, şirket tarafından daha önce renk testleri yaptırılmış olan gri ve bej olarak adlandırılmış iki farklı mermer bloğunun kesim esnasında oluşan toz artıklarıdır.

Numunelerin kimyasal analizleri X-ışınları Floresan (XRF) spektroskopisi ile, tane boyutu analizleri ise laser partikül sizer yönteminin kullanıldığı MALVERN Mastersizer 2000 cihazında gerçekleştirilmiştir. Mineralojik analizler Shimadzu X ışını difraktometre (XRD) cihazında yapılmıştır. Numunelerin beyazlık ve parlaklık ölçümü Hunterlab Colorflex (CFLX 45-2 Model Colorimeter, Hunterlab, Reston, VA) cihazında, özgül yüzey alanı tayini ise MALVERN Mastersizer 2000 cihazında tespit edilmiştir. Nem tayini, 105 ± 2 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmak suretiyle yapılmış; yağ absorpsiyonu testleri ise ISO 787/5 standartına göre gerçekleştirilmiştir.

Zenginleştirme çalışmaları için Şekil 1'de verilen laboratuvar ölçekli SB40 model Falcon konsantratörü Çizelge 1'de verilen deney parametreleri ön zenginleştirme, OUTOTEC WHIMS 3X4L yüksek alan şiddetli yağ manyetik ayırıcı ise nihai zenginleştirme amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 1. Laboratuvar ölçekli SB40 model Falcon konsantratörü.

Falcon konsantratörde, ince taneler akışkan yatak halindeki sulu ortamda merkezkaç kuvvetin etkisiyle yoğunluk farkından yararlanılarak zenginleştirilmektedir (Falconer, 2003). Ayırmanın yapıldığı ünite kova şeklindedir. Kovanın üst orta kısmında, besleme kanalı bulunur ve ince malzeme su ile karıştırılarak belirli katı sıvı oranlarında bu kanaldan cihaza

beslenir. Kova motor tarafından döndürülen bir tabla üzerinde oturmaktadır. Kovanın çapına ve döndürme hızına bağlı olarak, kova içindeki malzemeye yerçekimi ivmesinin 300 katı fazla (300*g) merkezkaç kuvvet uygulanabilmektedir.

Çizelge 1. Falcon Konsantratörü Deney Parametreleri.

Santrifüj kuvveti	Basınç	Besleme hızı (l/dk)	Pülp Oranı (%)
20 G			
60 G			
99 G	1; 2; 4	1	20
150 G			
200 G			
300 G			

Falcon konsantratör ile mermer toz artıklarındaki yoğun mineraller uzaklaştırılmaya çalışılmış, CaCO₃'ün renk değişimi incelenerek ön konsantreler seçilmiştir. Ön konsantreler yaş manyetik ayırıcıda 17.490 Gauss'da zenginleştirilerek nihai konsantreler elde edilmiştir. Optimum çalışma parametrelerinde elde edilen 5 farklı konsantreler incelenerek kağıt ve boya üretiminde kullanılabilirliği irdelenmiştir.

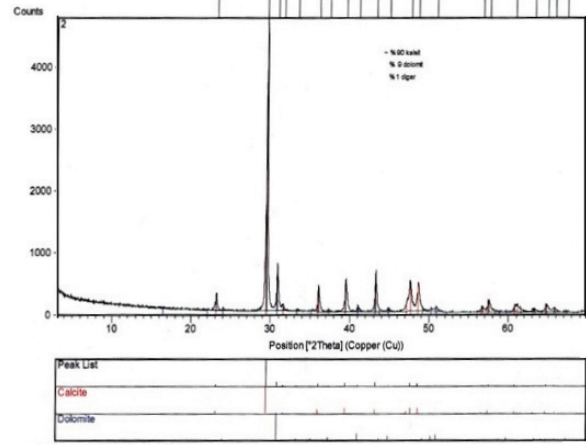
3. BULGULAR

3.1. Artığın Karakterizasyonu

Numunenin XRD piklerinden (Şekil 2) elde edilen veriler mermer tozu artık numunesinde esas mineralin yaklaşık olarak %90 oranında kalsit minerali (CaCO₃), %9 oranında dolomit minerali (CaMg(CO₃)₂) ve %1 oranında da diğer minerallerden ibaret olduğu tespit edilmiştir. Mermer toz artığına eşlik eden mineral maddeler XRD analiziyle belirlendikten sonra XRF yöntemiyle bu minerallerin kimyasal bileşimleri tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Tane boyutu; tane boyut dağılımı, özgül yüzey alanı proses kontrolünden nihai ürünün niteliklerinin belirlenmesine kadar her safhada malzeme karakterizasyonunda etkilidir. Besleme malı mermer toz artığının tane boyutu analizi yaş ortamda pülp halinde MALVERN Mastersizer 2000 cihazı ile yapılmış olup, Şekil

3'de verilen besleme malı mermer toz artığının tane boyu dağılımına göre d₁₀, d₅₀, d₉₀ değerleri sırasıyla 2,45 µm, 13,81 µm, 56,13 µm olarak saptanmıştır. Özgül yüzey alanı ise 1,09 m²/g olarak tespit edilmiştir.

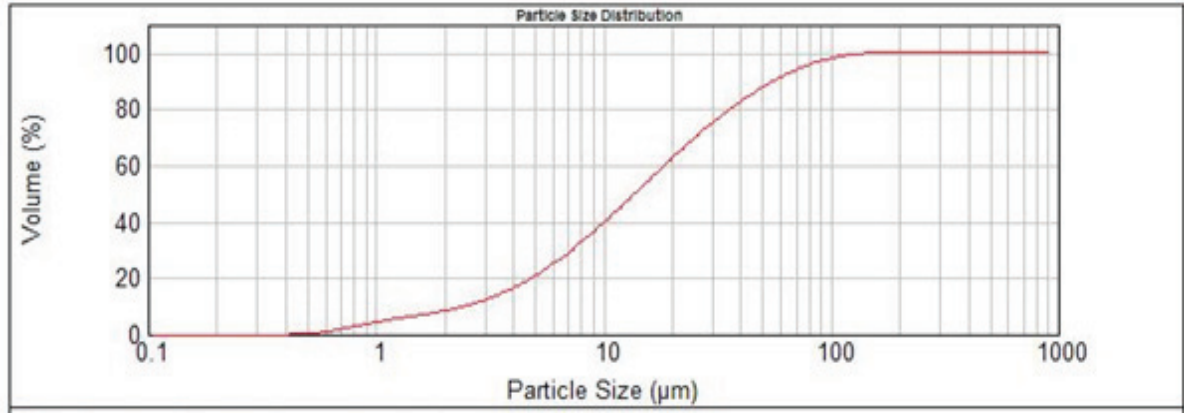


Şekil 2. Besleme malı mermer toz artığının XRD difraktogramı.

Çizelge 2. Besleme Malı Mermer Toz Artığının XRF Analiz Sonuçları.

Bileşim	%-M
F	0,10
Na ₂ O	0,02
MgO	2,75
Al ₂ O ₃	0,07
SiO ₂	0,19
P ₂ O ₅	0,06
SO ₃	0,03
Cl	0,01
K ₂ O	0,01
CaO	52,6
MnO	0,01
Fe ₂ O ₃	0,05
Kızdırma Kaybı	44,1

Besleme malının; 23 ml/100g yağ emme değerine, %93,86 beyazlık değerine, %80,60 parlaklık değerine, 2,65 g/cm³ yoğunluk değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Besleme malı mermer tozunun tane boyut dağılımı

3.2. Zenginleştirme Çalışmaları

Mermer toz artığındaki kalsit (CaCO_3) oranının Falcon konsantratörü ile artırılması hedeflenmiştir. Burada amaç yoğunluğu $2,71 \text{ g/cm}^3$ olan kalsiti (CaCO_3), yoğunluğu $2,85 \text{ g/cm}^3$ olan dolomitten ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ayırmaktı ancak malzemenin tane boyut dağılımındaki etki nedeniyle yoğunluktan ziyade tane boyutuna göre bir zenginleştirme söz konusu olmuştur. Falcon Konsantratöründen alınan

ön konsantreler beyazlık ve parlaklık sonuçlarına bağlı olarak değerlendirilmiş ve Falcon konsantratörü ön konsantreleri, yağ manyetik ayırmaya tabi tutularak elde edilen nihai ürünler; beyazlık, parlaklık, tane boyutu, özgül yüzey alanı testleriyle değerlendirilmiştir. Deney parametreleri ve sonuçları irdelendikten sonra seçilen 5 deneyin (Çizelge 3) nihai karakterizasyon testleri yapılmıştır. Deneyler %20 pülp te katı oranı, 1l/dk pülp besleme hızında uygulanmıştır.

Çizelge 3. Nihai Karakterizasyon Testleri Yapılan Deneylerin Çalışma Parametreleri.

Deney No	Falcon Konsantratör Çalışma Parametreleri	
1	Gravite Kuvveti	60 G
	Yıkama suyu basıncı	1 Psi
2	Gravite Kuvveti	99 G
	Yıkama suyu basıncı	1 Psi
3	Gravite Kuvveti	200 G
	Yıkama suyu basıncı	2 Psi
4	Gravite Kuvveti	300 G
	Yıkama suyu basıncı	4 Psi
5	Gravite Kuvveti	300 G
	Yıkama suyu basıncı	1 Psi

Ön konsantrelerin her biri, Yaş Manyetik Ayırıcıda 17.490 Gauss'da nihai konsantre haline getirilmiştir.

Çizelge 4'de ise deney kodlarına bağlı olarak elde edilen nihai konsantrelerin tane boyut değişimleri verilmiştir. Çizelge 5, 6, 7, 8, 9'da ise deney kodlarına bağlı olarak nihai konsantrelerin XRF, beyazlık, parlaklık, yoğunluk ve yağ emme deney sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4. Deney Numaralarına Göre Tane Boyut Değişimleri.

Deney No	d10 (µm)	d50 (µm)	d97 (µm)	Özgül Yüzey Alanı (m ² /g)
Besleme Malı	2,45	13,81	56,13	1,09
1	1,36	7,97	31,34	1,61
2	1,86	10,54	54,49	1,30
3	1,29	6,95	27,55	1,72
4	1,30	7,65	27,85	1,66
5	1,42	7,20	24,95	1,62

Çizelge 5. Deney 1'in XRF, Beyazlık, Parlaklık, Yoğunluk ve Yağ Emme Deneyi Sonuçları.

Kimyasal Analizler	Miktar (%)
F	0,104
Na ₂ O	0,04
MgO	2,79
Al ₂ O ₃	0,07
SiO ₂	0,20
P ₂ O ₅	0,07
SO ₃	0,03
Cl	0,01
K ₂ O	0,01
CaO	52,70
MnO	0,01
Fe ₂ O ₃	0,05
ZnO	0,01
Kızdırma Kaybı	43,86
Fiziksel Analizler	Miktar
Beyazlık (L %)	96,29
Parlaklık (Z %)	86,51
Yoğunluk (g/cm ³)	2,54
Yağ Emme (ml)	23,67
CaCO ₃ (%)	93,87

Çizelge 7. Deney 3'ün XRF, Beyazlık, Parlaklık, Yoğunluk ve Yağ Emme Deneyi Sonuçları.

Kimyasal Analizler	Miktar(%)
F	0,14
Na ₂ O	0,06
MgO	2,76
Al ₂ O ₃	0,07
SiO ₂	0,204
P ₂ O ₅	0,07
SO ₃	0,03
Cl	0,02
K ₂ O	0,015
CaO	52,60
MnO	0,01
Fe ₂ O ₃	0,05
ZnO	-
Kızdırma Kaybı	43,90
Fiziksel Analizler	Miktar
Beyazlık (L %)	96,20
Parlaklık (Z %)	86,20
Yoğunluk (g/cm ³)	2,49
Yağ Emme (ml)	24,33
CaCO ₃ (%)	93,76

Çizelge 6. Deney 2'nin XRF, Beyazlık, Parlaklık, Yoğunluk ve Yağ Emme Deneyi Sonuçları.

Kimyasal Analizler	Miktar (%)
F	0,10
Na ₂ O	0,04
MgO	2,77
Al ₂ O ₃	0,06
SiO ₂	0,185
P ₂ O ₅	0,07
SO ₃	0,03
Cl	0,01
K ₂ O	0,01
CaO	52,50
MnO	0,01
Fe ₂ O ₃	0,05
ZnO	-
Kızdırma Kaybı	44,10
Fiziksel Analizler	Miktar
Beyazlık (L %)	95,62
Parlaklık (Z %)	84,81
Yoğunluk (g/cm ³)	2,60
Yağ Emme (ml)	25
CaCO ₃ (%)	93,92

Çizelge 8. Deney 4'ün XRF, Beyazlık, Parlaklık, Yoğunluk ve Yağ Emme Deneyi Sonuçları.

Kimyasal Analizler	Miktar(%)
F	0,085
Na ₂ O	0,04
MgO	2,82
Al ₂ O ₃	0,07
SiO ₂	0,20
P ₂ O ₅	0,07
SO ₃	0,03
Cl	0,01
K ₂ O	0,01
CaO	52,70
MnO	-
Fe ₂ O ₃	0,05
ZnO	0,01
Kızdırma Kaybı	43,88
Fiziksel Analizler	Miktar
Beyazlık (L %)	96,22
Parlaklık (Z %)	86,32
Yoğunluk (g/cm ³)	2,54
Yağ Emme (ml)	23
CaCO ₃ (%)	93,91

Çizelge 9. Deney 5'in XRF, Beyazlık, Parlaklık, Yoğunluk ve Yağ Emme Deneyi Sonuçları.

Kimyasal Analizler	Miktar(%)
F	0,13
Na ₂ O	0,04
MgO	2,73
Al ₂ O ₃	0,06
SiO ₂	0,15
P ₂ O ₅	0,07
SO ₃	0,03
Cl	0,01
K ₂ O	0,01
CaO	52,80
MnO	0,01
Fe ₂ O ₃	0,04
ZnO	-
Kızdırma Kaybı	43,85
Fiziksel Analizler	Miktar
Beyazlık (L %)	96,03
Parlaklık (Z %)	86,00
Yoğunluk (g/cm ³)	2,54
Yağ Emme (ml)	23,67
CaCO ₃ (%)	94,03

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Türkiye'de ince mermer artık malzemelerinin değerlendirilmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Bunun sonucu olarak kaynakların kullanımında çok büyük ekonomik kayıplar olmaktadır. Çevre dostu, düşük fiyatlı, sağlam yapı malzemesi ve endüstriyel hammadde girdisinin popülaritesinin artması yeni araştırmaları da gerektirmektedir. Söz konusu mermer tozu artıkları kullanılarak, standartlara uygun çevreye zarar vermeyen malzeme üretiminde tek başına veya başka malzemelere karıştırılarak kullanım alanlarının genişletilmesi, ekonomiye kazandırılması büyük önem taşımaktadır.

Gençler Mermer San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasından alınan mermer tozu artığı numunelerinin, çeşitli sektörlerde kullanılabilmesi için gerekli özellikler, tane boyut dağılımı, CaCO₃ oranı, yoğunluk, beyazlık ve yağ absorplama değeri olarak belirlenmiştir. Alınan mermer tozu artıkları farklı

uygulama parametreleri ile Falcon Gravite Konsantratörden geçirilmiş ve özellikle deney 5'in verileri olan %20 katı oranı, 1l/dk besleme hızı, 300 G yerçekimi kuvveti, 1 psi yıkama suyu basıncı ile d₁₀ değeri 1,42 mikron, d₅₀ değeri 7,20 mikron, d₉₀ değeri 24,95 mikron olan tane boyutlarında ulaşılmıştır. %93,86 Beyazlık, %80,60 parlaklık ve %90 CaCO₃ değerine sahip artık toz malzemeden; %96,03 beyazlık, %86,00 parlaklık ve %94,03 CaCO₃ değerine sahip konsantreler üretilmiştir. DPT, 2001'de verilen kalsitin (CaCO₃) belirlenmiş referans değer aralıklarına göre kağıt ve boya sektörlerine uygunluğu incelenmiştir.

Kağıt ve boya sektörlerinde CaCO₃ değeri %96-98, Fe₂O₃ değeri %0,2, SiO₂ değeri %0,2, MgO değeri max %2, beyazlık değerinin min %95 olması gerekmektedir. Malzemenin tane boyutunu ise, kağıt sektörü için dolguda %42-44'ünün 2 µm altında, d₅₀ değerinin max 3 µm, d₉₇ değerinin max 18-20 µm, kaplamada ise %80-90'ının 2 µm altında, d₅₀ değerinin max 1 µm, d₉₇ değerinin max 6-8 µm arasında olması gerekmektedir. Boya sektöründe tane boyut dağılımına bakıldığında, genel kullanım için %32-34'ünün 2 µm altında, d₅₀ değerinin max 3,5 µm, d₉₇ değerinin max 36 µm, ince ürün olarak kullanımında ise %55-60'ının 2 µm altında, d₅₀ değerinin max 1,6 µm, d₉₇ değerinin max 12 µm olması istenir. Bu bilgiler ile nihai deneylerden 1, 2, 3, 4, 5'te belirtilen Falcon Gravite Konsantratör parametreleri; ürünlerin tane boyutunun öğütme işlemiyle düşürülmesi ve CaCO₃ yüzdelilerinin ise tekrarlanacak bir Falcon Konsantratör çalışması ile artırılabilmesi öngörülmektedir. Konsantratörün renk verici malzemeleri rahatlıkla uzaklaştırabildiği manyetik ayırıcının ise nihai temizleme çalışmasında renk verici mineralleri uzaklaştırmada herhangi bir etkisinin olmadığı yapılan araştırma sonucu elde edilen veriler arasındadır.

Sonuç olarak, tesisin mermer ürünleri üretimi esnasında; %16,5 neme sahip, %99'a yakın bir kısmı 100 µm tane boyutu altında kalan günlük yaklaşık 90 ton ince artık elde ettiği dikkate alındığında, çalışmanın önemi ve elde edilen ürünün devamlılığı ortaya çıkmaktadır. Eylül 2012 fiyatları ile CaCO₃ sadece tane boyutu olarak incelendiğinde, Türkiye'de ocak başı fiyatının 15-20 TL/ton arasında, 50-22 mikron arası 21-26 \$/s.ton, 22-10 mikron arası 50-105 \$/s.ton, 3 mikron altının ise 170-185

\$/s.ton olduğu ve bu ürünlerin beyazlıklarının sağlanması ile (örneğin kağıt dolgu ürünü olarak kullanılan 1. kalite kaolenin satış fiyatı 209 \$/s. ton) daha yüksek fiyatlara ulaştığından (Anon, 2012); basit bir üretim planlaması, günümüz teknolojisi ve pipe-line hatları ile aşılamayacak bir sorun olmadığı anlaşılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Gençler Mermer San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne projemize verdikleri destek ve katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Anon, Maden Mühendisleri Odası, <http://www.maden.org.tr>, 27.02.2013, Metal-Maden Fiyatları.

Ceylan, H., 2000, Mermer fabrikalarındaki toz mermer artıklarının ekonomik olarak değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, S. D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 43 sf.

DPT, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I, Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2618 – ÖİK: 629, 99 sf.

Falconer, A., 2003, Gravity Seperation: Old Technique/New Methods, *Physical Seperation in Science and Engineering*, 12 (1), 31-48.



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

IMCET – 2013

TÜRKİYE 23. ULUSLARARASI
MADENCİLİK KONGRESİ ve SERGİSİ

16 - 19 Nisan 2013 / ANTALYA



www.imcet.org.tr

imcet@maden.org.tr

Bildiri Özetleri Son Gönderme Tarihi 3 Eylül 2012

AFYONKARAHİSAR'DA TARİHİ ÇEŞMELERDE YAPITAŞI OLARAK KULLANILAN VOLKANİK KAYAÇLARDAKİ BOZUNMALARIN İNCELENMESİ

The Investigation of the Weathering of Volcanic Rocks Used as Building Stone of Historic Fountains in Afyonkarahisar

Mustafa Yavuz ÇELİK*
Yasin ÖZTÜRK**

ÖZET

Afyonkarahisar'da, Osmanlı döneminde, volkanik kayalar kullanılarak yapılmış cami ve çeşme gibi çok sayıda tarihi eser bulunmaktadır. Bu volkanik kayalar Afyonkarahisar civarındaki taş ocaklarından elde edilmiştir. Çeşmelerin büyük bir kısmında, tüfler ve yörede bol miktarda bulunan volkanik kayalar kullanılmıştır. Bu çeşmelerin bir kısmı hala kullanılırken, bir kısmı ise suyu akmadığı için gün geçtikçe bakımsızlıktan dolayı yıkılmaya yüz tutmuş durumdadır. Bazı çeşmelerde ise restorasyon çalışmaları yapılmıştır. Bazı çeşmelerde kullanılan doğal taşlar ise doğal ve çevresel etkilerden dolayı ayrılmıştır. Ayrışma izleri görülen kayalarda mineralojik ve petrografik incelemeler yapılarak ayrışma ve bozunmalar incelenmiştir. İnce kesitlerde çoğunlukla sanidin, biyotit ve hornblentlerde bozunmalar görülürken, SEM incelemelerinde ise feldspatlarda kil oluşumlarına rastlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yapı taşı, volkanik kayaç, bozunma, tarihi çeşme, Afyonkarahisar

ABSTRACT

There are a lot of historical monuments like mosques and fountains which are built by volcanic rocks in the time of Ottoman Empire around Afyonkarahisar region. These volcanic rocks are obtained from quarries which are based on the area of Afyonkarahisar. The majority of the fountains are created by tuffs and volcanic rocks that are vastly located around that area. Some parts of them face the danger of falling into pieces due to lack of maintenance. Therefore, they are undergone restoration processes. Moreover, the natural stones that are used in many of these fountains are weathered because of the natural and environmental effects. The weathering of these fountains is examined by mineralogical and petrographic investigations. In the thin sections decomposition can be seen mostly around sanidine, biotite and hornblende. Clay formations can be spotted around feldspar in the SEM investigations.

Keywords: Building stone, volcanic rocks, weathering, historic fountain, Afyonkarahisar

* Yrd. Doç. Dr. Afyon Kocatepe Ün., Afyon MYO Ali Çetinkaya Kampusü, AFYONKARAHİSAR, mycelik@hotmail.com

** Maden Müh., 1. Cad. No: 43/1 Balgat/ANKARA

1. GİRİŞ

Selçuklu ve Osmanlı Dönemi yapıları ile tarihi dokunun yaşatıldığı ve Anadolu'daki Türk kültürünü yansıtan önemli eserlerin yer aldığı illerden birisi de Afyonkarahisar'dır. Afyonkarahisar'da günümüze kadar gelebilen cami, medrese, köprü ve han gibi genel kullanıma açık tarihi yapıları yanı sıra, çeşme, hamam, bent ve su kemeri gibi su mimarisi yapıları da önemli bir yer tutmaktadır.

1671 yılında şehre gelen Evliya Çelebi Seyahatnamesi'nde; "iki yüzden müteceviz ab-ı hayat çeşmesarları vardır. Amma cümlesi Kadınana suyundandır" demektedir. 1905 yılına ait Hüdâvendigâr Vilâyeti Salnâmesi'ne göre, şehirde elli bir çeşme bulunmaktadır (Karazeybek vd, 2005). Karazeybek vd, (2005) tarafından, Başbakanlık Osmanlı Arşivi, Afyon şer'iyye Sicilleri, Tahrir Defterleri, Vakıflar Genel Müdürlüğü Arşivi, Ankara Milli Kütüphane Arşivleri taranarak, Afyonkarahisar vakıf eserleri Selçuklu Döneminden itibaren incelenmiştir. Bu verilere göre günümüzde olmayan ve sadece adları kalan yirmi üç çeşme tespit edilmiştir. Bu çeşmeler şunlardır: Adayze Camii (Molla Bahşî Mahallesi) Çeşmesi, Ardıç Mahallesi [Kuyulu] Camii Çeşmesi, Çuğacı çeşmesi, Damardı Çeşmesi, Düğendâr Veli Sebili, Fakih Paşa Mahallesi Ayşe Hanım Çeşmesi, Felezâde Sebilhânesi (Otpazarı Camii Çeşmesi), Havuççu Çeşmesi, İbrahim Sebîli, iki Lüleli-Süleyman Şah Çeşmesi, Kâhil Mahallesi Çeşmesi (Küp Çeşme), Karagöz Ağa Çeşmesi, Karaman Mahallesi Çeşmesi, Kasım Paşa Mahallesi Tandır Yeri Çeşmesi, Küçük Çeşme, Marulcu Çeşmesi, Medli Mahallesi Çeşmesi, Memi Oğlu Hamza Sebili, Mustafa Bey ve Hayratı Bey Çeşmeleri, Sevindik Çeşmesi, Şeyh Esad Efendi Tekkesi Suyu, Tâc-Ahmet Mahallesi Çeşmesi.

Bu çeşmelerin zamanında vakıf sistemi esasına göre işlevlerini sürdürmelerine rağmen, zaman içerisinde meydana gelen olumsuzluklardan etkilenip ya yıkılarak yok olduğu veya Cumhuriyet Döneminde imar çalışmaları ve yol genişlemeleri nedeniyle yer değiştirildiği veya yıkıldığı sanılmaktadır.

Günümüze kadar ulaşmış 33 çeşmeden 8 tanesi de değişik dönemlerde çeşitli resmi kurumlarca restore edilmiş olup bu çeşmeler diğerlerine göre daha bakımlı ve sağlam bir görünüm arz etmektedir (Çelik ve Sel, 2008).

Afyonkarahisar'da günümüze kadar ulaşan çeşmelerden birçoğunun yapıtaşları, zaman içerisinde atmosfer etkilerine yenik düşerek, gerekli bakımların da yapılmamasından dolayı harap hale gelmiştir. Çeşmenin yapısını oluşturan doğal taşlar bozularak ayrılmış ve yer yer erimeler meydana gelmiştir. Çoğu çeşmenin de suyunun kesik olmasından dolayı gerekli itina gösterilmediği için bu çeşmeler zamanla yok olmaya terk edilmiş durumdadır. Zaman içerisindeki vakıf ve tarihi eserlerin korunması gündeme gelince, birçok tarihi eserde olduğu gibi Afyonkarahisar'ın çoğu çeşmesi de, "Bu eser korunması gereken tescilli kültür varlığıdır" levhası asılarak insan faktörünün fiziksel tahribatından korumaya çalışılmıştır (Çelik ve Sel, 2008).

Tarih boyunca farklı kültürleri ve manevi inanışları temsil eden ibadet yapıları ve çeşmeler gibi anıtsal yapılar, korunması gereken kültür varlığı olarak kayıt altına alınmış önemli mimarlık yapılarıdır. Afyonkarahisar şehir merkezinde de tarihin derinliklerinden günümüze kadar gelen tarihi çeşmeler hala mevcudiyetlerini sürdürmektedir. Bu çeşmelerin bir kısmı hala etrafındaki insanlara hizmet vermekte, bir kısmı ise suyu akmadığı için gün geçtikçe terk edilmişlikten ve bakımsızlıktan dolayı yıkılmaya yüz tutmuş durumdadır.

Literatürde, tarihi yapılarda kullanılan doğal taşlarda görülen bozunmaları inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Birçok araştırmacı doğal yapı taşlarının bozunmasındaki en önemli etkenin hava kirliliği olduğunu belirtmiştir (Tuğrul vd, 1999, Gökaltun, 2004; Tecer, 2005). Bazı yazarlar kayaçların ayrışmasında su içeriğinin önemli olduğunu ifade etmişlerdir (Gökaltun, 2010, Wedekind, vd., 2012). Bazı araştırmacılar da doğal taşlardaki ayrışmanın donma ve çözülme olaylarıyla ilişkisini incelemişlerdir (Topal ve Sözmen 2003, Chen vd, 2004). Gökay (2003), doğal ortamda iklim şartları altında meydana gelen kayaç bozunmalarını serpantin ve kireçtaşları açısından incelemiş ve bozmuş kayaç renklerinin taze kayaç yüzey renklerinden farklılığını ortaya koymuştur. Tuğrul (2004) ise bazı kayaçların ayrışmasında porozitenin etkisini incelemiştir.

Bu makalede Afyonkarahisar'da bulunan bazı tarihi çeşmelerin (Apdi Kadı, Arap Mescit, Hacı Nasuh ve Hüdâlı (Hodalı) çeşmeleri) yapıldığı

doğal yapı taşlarında görülen ayrışma ve bozunmalar incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Afyonkarahisar'da bulunan Apdi Kadı, Arap Mescit, Hacı Nasuh ve Hüdâlı (Hodalı) Çeşmeleri yapımında kullanılan volkanik kökenli doğal yapı taşlarında meydana gelen bozunmaların incelenmesi amacıyla söz konusu çeşmelerin yapıtaşlarından, çeşmenin yapısına zarar vermeden ayrılmış kayaçlardan çok küçük örnekler alınmıştır.

Afyonkarahisar'da günümüzde halen mevcut olan çeşmeler ve durumları Çizelge 1'de, lokasyonları ise Şekil 1'de verilmiştir. Bu çeşmelerin çoğu şehrin ilk yerleşim yerleri olan kale ve civarındaki eski mahallelerde yer almaktadır. Şehrin tarihi dokusunun korunması amacıyla bu bölgede birçok sokak SİT alanı olarak ilan edilmiş olup yeni yapılaşmaya izin verilmemektedir. Dolayısıyla tarihi doku ile beraber bu çeşmeler de, koruma kalkanından faydalanarak varlıklarını sürdürmektedir. Bu çeşmelerin en eskisi Hüdâlı (Hodalı) Çeşmesi (Câmi-i Kebîr Mahallesi) olup 1250 yılında, en yenisi ise 1900'lü yılların başında yaptırılmıştır (Çelik ve Sel, 2008).

2.1.1. Çeşmelerin Yapımında Kullanılan Doğal Taşlar

Afyonkarahisar çeşmelerinde yapı malzemesi olarak kesme taş, moloz taş, mermer ve tuğla malzemeleri kullanılmıştır. Bazı çeşmelerde ise bu malzemeler karma olarak çeşmenin çeşitli yerlerinde kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda tarihi çeşmelerin yapımında kullanılan taşların ağırlıklı olarak, Afyonkarahisar civarında bol olarak bulunan volkanik kökenli taşlar olduğu anlaşılmıştır. Bu taşlar genellikle siyah, gri ve bordo renkli bazaltlar ve bazaltik andezitler, gri ve yeşilimsi renkli trakitler, pembe ve gri renkli traki-andezitler ile beyaz ve gri renkli mermerlerdir. Bunlardan başka civarda bol miktarlarda bulunması, yumuşak olması ve kolay işlenmesi nedeniyle tüflerin de yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir.

Kullanılan taşların hangi bölgedeki hangi ocaklardan elde edildiği bilinmemekle birlikte, bazaltlar, trakiandezitler ve andezitler İscehisar civarında bol miktarda bulunmakta ve günümüzde

de doğal yapı taşı olarak işletilmektedir. Trakitler ise kalenin de yer aldığı volkanik tepelerde ve Afyonkarahisar civarındaki tepelerde bol olarak bulunmaktadır. Yapılan literatür incelemesinde bu taşların değişik isimler altında çok eskiden beri yapı taşı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Tarihi çeşmelerde kullanılmış olan mermerlerin, daha çok kitabe ve ayna taşı olarak kullanıldığı gözlenmekle beraber yer yer beyaz ve gri renkli mermerlere gerek duvarlarda, gerekse kemer ayaklarında rastlanılmaktadır. Ancak bu mermerlerin Roma veya Bizans dönemlerine ait yapılardan sökülerek "devşirme" tabir edilen şekilde kullanıldığı gözlenmektedir (Çelik ve Sel, 2008).

2.1.2. İnceleme Yapılan Tarihi Çeşmeler

2.1.2.1. Apdi Kadı Çeşmesi

Gündoğmuş Mahallesi'nde Abdi Kadı Mescidi'nin yirmi metre kadar uzağında bulunan çeşme, Abdi Kadı adıyla anılmaktadır. Çeşmenin mescitle birlikte yapıldığı sanılmaktadır. 1694 tarihli bir kayıta, çeşme vakfına ait bir davadan çeşmenin bu tarihten önce yapıldığı anlaşılmaktadır. Abdi Çelebi'nin mezar taşından 1500–1501/H.906 yılında vefat ettiği dikkate alındığında çeşme ve mescidin 1500 yılından önce yapılmış olduğunu söylenebilir (Karazeybek vd, 2005).

Abdi Kadı çeşmesinin bu günkü görünüşü Şekil 2'de verilmiştir. Çeşme, kesme taşlarla yapılmış olup bir eve bitişik nizamlıdır. Kemer ayaklarını oluşturan kesme taşlar ile üst kısmı oluşturan taşlar cins olarak birbirinden ayrılır. Üst kısımlarda çoğunlukla tüfler kullanılmıştır. Apta Kadı Çeşmesinde kemer ayağında kullanılan bazalt, andezit, tuf ve trakiandezitlerin görünümü Şekil 2'de verilmiştir.

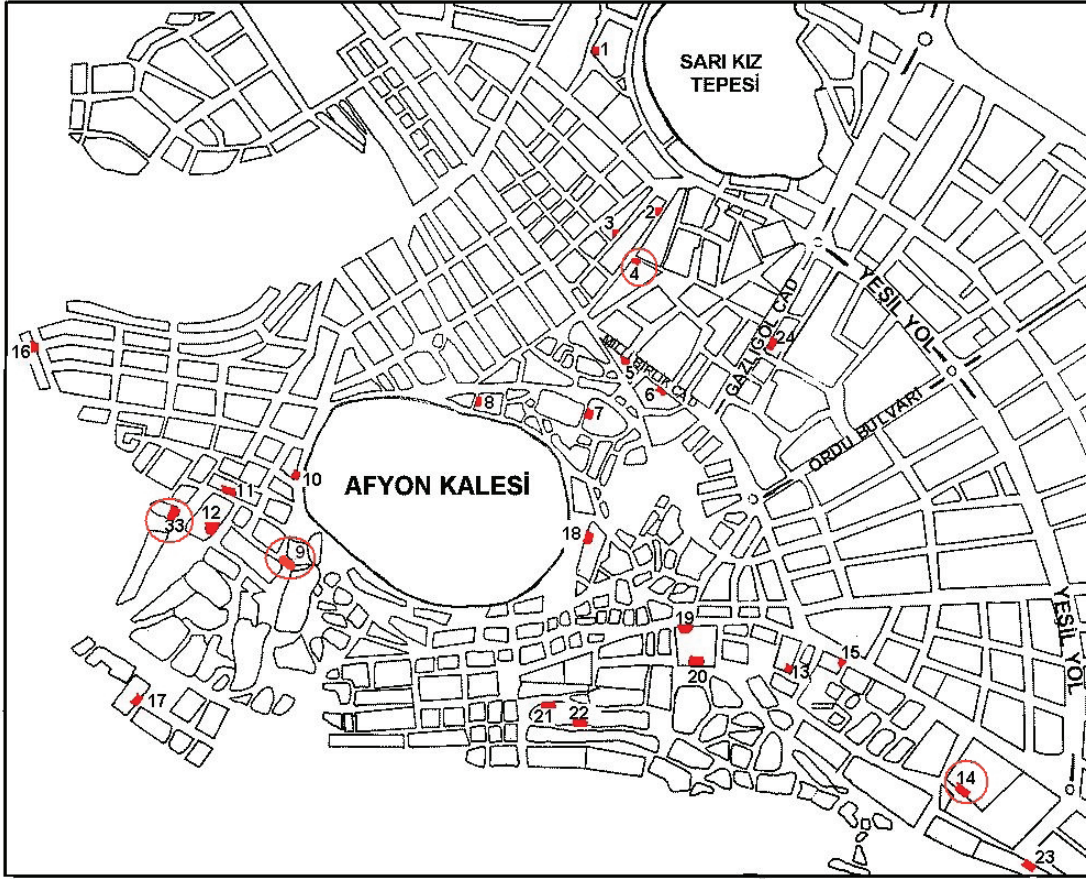
2.1.2.2. Arap Mescit Çeşmesi

Arapmescit Mahallesi'nde aynı adı taşıyan caminin güney-doğusunda bulunmaktadır. Vakıf kayıtlarında Arapmescit Mahallesi çeşmesi, Arab Çeşmesi, Arapmescit Çeşmesi isimleriyle anılan çeşmenin yapım tarihi ve yaptıranı tespit edilememiştir. Çeşme ile alakalı olarak tespit edilebilen en eski vakıf kaydının 1575 tarihli olduğundan hareketle çeşmenin bu tarihten önce yapıldığını söylenebilir. Diğer taraftan Mayıs 1677 tarihli mahkeme kaydında da çeşme vakfının ismi geçmektedir (Karazeybek vd, 2005). Çeşmenin bu günkü görünümü Şekil 3'de verilmiştir.

Çizelge 1. Afyonkarahisar'da Günümüzde Halen Mevcut Olan Çeşmeler (Karazeybek vd, 2005).

No	Çeşmenin adı	Mahallesi	Yapılış tarihi	Tamir tarihi
1	Ali Vezir Çeşmesi	Kayadibi Mahallesi	1926	
2	Kayadibi Çeşmesi	Karamanoğlu Mahallesi	1845	
3	Mevlânâ Muslihüddin Çeşmesi (Orta Çeşme)	Karamanoğlu Mahallesi	1575'den önce	
4	Abdi Kadı Çeşmesi	Gündoğmuş Mahallesi	1500'den önce	1799-1800
5	Sülüm Çeşmesi 1	Nurcu Mahallesi	1910	
6	Sülüm Çeşmesi 2	Nurcu Mahallesi	1908	
7	Burmalı Mahallesi Çeşmesi	Burmalı Mahallesi	1886	
8	Başçeşme Çeşmesi	Efecik Mahallesi	1495'den önce	
9	Arapmescit Mahallesi Çeşmesi	Arapmescit Mahallesi	1575'den önce	6 Ekim 1906
10	Yeni Çeşme	Çavuşbaş Mahallesi	1910	
11	Çavuşbaş Camii Çeşmesi	Çavuşbaş Mahallesi Camii yanında	1713	
12	Ali Ağa Çeşmesi	Çavuşoğlu Mahallesi	1438	1906
13	Yeni Çeşme (Küp Çeşme)	Kâhil Mahallesi	1553	
14	Hacı Nasuh Çeşmesi	Hacı Nasuh Mescidi yanında	1902	
15	Cevizaltı Çeşmesi	İmaret Camii doğu köşesinde	1764	1900
16	Olucak Çeşmesi	Kale arkasında Olucak mevkii	1789	
	Küçük Olucak	Çavuşbaşı Mahallesi	1846'dan önce	
17	Taşpınar	Taşpınar Mahallesi	1799'dan önce	1799-1800
18	Hacı Evtal Mahallesi Çeşmesi	Hacı Evtal Mahallesi	1806'dan önce	
19	Hacı Hüseyin Çeşmesi	Fakih Paşa Mahallesi	1907	
20	Gürcani Cami (Mahkeme Mescidi)	Fakih Paşa Mahallesi	?	
21	Akmescit Mahallesi Orta Çeşmesi	Akmescit Mahallesi	1806-1807	
22	Akmescit Çeşmesi	Akmescit Mahallesi	1904	
23	Bel Mescit Çeşmesi	Gökçe Mahallesi	19 yy	
24	Boyacıoğlu Çeşmesi	Karaman Mahallesi	?	
25	Hüdâlı Çeşmesi	Câmi-i Kebîr Mahallesi	1250	
26	Süt Dede (Siyahlar) Çeşmesi	Hacı Yahya Mahallesi	1810	
27	Hacı Nuh Mahallesi Çeşmesi	Hacı Nuh Mahallesi	1894'den önce	
28	Kubbeli Mahallesi Çeşmesi	Kubbeli Mahallesi	1899'den önce	
29	Şeyh Abdurrahim Çeşmesi	Kasım Paşa (Mısır Sultan) Camii yanı	1660'den önce	
30	Karaman Mahallesi Çeşmesi	Karaman Mahallesi Camisi bitişiği	1670'den önce	
31	Akçeşme	Şehir çıkışı (Konya Yolu)	1575'den önce	
32	Karakatip Çeşmesi	Karakatip Mahallesi	1786	
33	Hüdâlı (Hodalı) Çeşmesi	Câmi-i Kebîr Mahallesi	1250	

Şekil 1. Afyonkarahisar'da bulunan tarihi çeşmeler ve incelenen çeşmelerin lokasyon haritası (Çizelge 1'deki numaralara göre) (Öztürk, 2000).



Kuzeyde musluğu olan çeşmenin güney kısmında dikdörtgen planlı bir deposu bulunmaktadır. Çeşmenin güney cephesinin sol üst köşesi ile sağ üst köşesinde dikdörtgen iki penceresi mevcuttur. Cephede duvarın ortasında "Maşallah", sağ üst köşede "Fî 23 Eylül 322" (6 Ekim 1906), sol üst köşede "fi 17 şaban 324" (6 Ekim 1906) tarihleri okunmaktadır. Bu tarihler muhtemelen çeşmenin tamiri veya yeniden yapılmasıyla alakalıdır (Karazeybek vd, 2005).

Çeşme kesme taştan yapılmış olan kullanılan taşlar trakitlerdir. Günümüzde kullanılmayan çeşmenin yaklaşık 45 cm. derinliğinde sivri kemerli bir nişi bulunmaktadır. Nişin çıkıntı kısmındaki ayna taşı üzerinde kabartmalı olarak vazo içinde bir çiçek tasviri yer almaktadır. Lüle deliğinin altında Bizans devşirme taşı olan süslemeli mermer blok yer almaktadır.

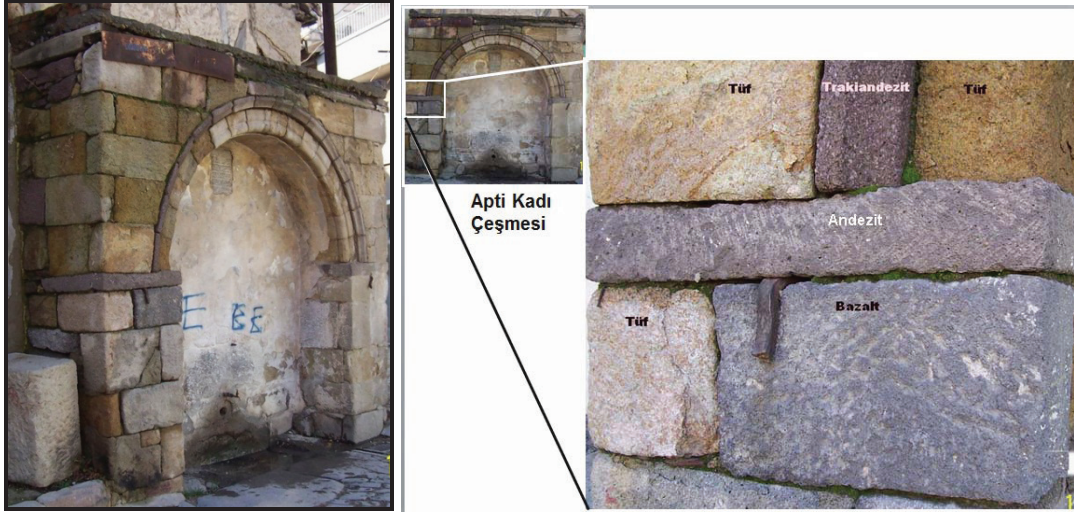
2.1.2.3. Hacı Nasuh Çeşmesi

Hacı Nasuh Camii'nin doğu cephesi duvarına

bitişik olarak yapılan Hacı Nasuh Çeşmesi, kışın donan musluğunun çıra ile çözdürülmesi sırasında islenmesinden dolayı, halk arasında İslî Çeşme diye anılmaktadır. Çeşmenin güney kısmında 3,80x4,50 m boyutlarında deposu vardır. Deponun doğu cephesinde çinko levha ile kapatılmış dikdörtgen bir penceresi yer almaktadır. Deponun üzeri çatı ile örtülmüştür. Çeşme nişinin her iki yanında, yuvarlak kemeri taşıyan 30 cm genişliğinde plasterler üzerine oturan profilli başlıklar bulunmaktadır. Nişi örten yuvarlak kemer içindeki kitabede "Mâşa'llâh sene 1320 12 Rebû'l-âhir" yazılıdır. Kitabeye göre, çeşme 19 Temmuz 1902 tarihinde yapılmıştır. Ancak, her mahallede ve hemen her cami ve mescit yanında bir çeşmenin genelde var olması, çeşmenin de mescit ile birlikte yapılmış olabileceği ihtimalini kuvvetlendirmektedir. Hacı Nasuh Mescidi'nin 1777 tarihinde camiye çevrilmesi dikkate alınarak çeşmenin yapımının bu tarihten önceye rastladığı söylenebilir. (Karazeybek vd, 2005). Çeşmenin bu günkü görünümü, Şekil 4'te verilmiştir.

Cami duvarına bitişik olan çeşme kesme taş, moloz taş ve tuğla malzemeyle almalı olarak yapılmıştır. Kullanılan doğal taşlar cephe ve kemerde tuf, köşe taşları ise trakitlerden yapılmıştır. Çeşmenin cephesi düzgün kesme taş kullanılarak inşa edilmiştir. Kemer açıklığında

yer alan kitabe mermere oyulmuştur. Çeşmenin diğer kısımları düzgün kesme taş ve moloz taş karışımı ile yapılmıştır. Çeşmenin damı yine düzgün kesme taş örtülüdür. Depo kısmı ise moloz taş örgülüdür.



Şekil 2. Abdi Kadı çeşmesinin görünümü ve Apti Kadı Çeşmesinde kullanılan bazalt, andezit tuf ve trakiandezitler



Şekil 3. Arapmescit çeşmesinin görünümü, andezitik kayalardan kesme taş olarak yapılmıştır.

2.1.2.4. Hüdâlı (Hodalı) Çeşmesi

Câmii Kebîr Mahallesinde bulunan Hüdâlî Çeşmesi halk arasında Hodalı Çeşme diye anılmaktadır. Önü siperli olan çeşmenin deposu da mevcuttur. Uzun süre kaynak su ile beslenen çeşmeye XX. yüzyılın ikinci yarısında şehir şebeke suyu bağlanmıştır. Kitabeden anlaşıldığına göre çeşme, 1250 yılında Selçuklu hükümdarı II. İzzeddin Keykavus'un emri ile Yesrili Osman oğlu Şemseddin Ömer tarafından yapılmıştır. Kitabede "mübarek" ifadesinden kitabenin konduğu yerin kutlu bir yer olduğu anlaşılmaktadır. Bir çeşmenin bu vasıfla anılması imkânsız olduğuna göre, bu kitabe sonradan bu çeşmeye konulmuş olmalıdır.

Gönçer (1971), kitabenin kadıların, subaşılının

ve valilerin oturduğu bir konağa ait olabileceğini bildirmektedir. Yine onun kanaatine göre, bu konak, Kırklar Makamı diye anılan mescidin yerindedir ve Kadılar Makamı ihtimal Kırklar Makamı'na dönüşmüştür (Karazeybek vd, 2005). Çeşmenin bu günkü durumu Şekil 5'de görülmektedir.

Düzyük kesme taş örgülü dikdörtgen prizmatik bir yapıda inşa edilmiştir. Kuzey yönde silme sivri kemerli nişi, güney yönde büyükçe su birikim yeri vardır. Depo kısmı düzensiz taş örgü duvar olup üzeri harç sıvalıdır ve üstü çimento şaplıdır. Kemer içinde orta yazıtı, altında iç içe iki daire içinde musluk yerini belirten delik en altta yalak içinde yeni musluk vardır. Üç yana taşkın saçak ahşap olup, önde iki dayanakla duvara bağlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 4. Hacı Nasuh çeşmesinin görünümü.



Şekil 5. Hüdâlî (Hodalı) çeşmesi görünümü.

2.2. Yöntem

Tarihi yapıya zarar vermemek açısından, inceleme ve deneylerde kullanmak için daha büyük boyutta malzeme gerektiğinden, tahribatlı deney yöntemleri uygulanamamıştır. Bu nedenle ayrışmanın makro boyuttaki durumu incelenmiştir. Laboratuvar çalışması olarak da ince kesit ve SEM analizleri yapılmıştır. Ayrışma özelliklerinin belirlenmesinde, ince kesitler hazırlanarak kayaçları oluşturan minerallerin ayrışmaları incelenmiştir. Bunun için Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde Euromex marka polarizan mikroskop kullanılmıştır. Ayrıca aynı örnekler yine aynı merkezde bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı ile mikroyapı analizi yapılarak fotoğrafları çekilmiştir. Alınan örneklerden kimyasal analizler Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Laboratuvarı'nda RİGAKU marka XRF cihazında (IQ-Standartsız program) analiz edilmiştir.

3.2. Apdi Kadı Çeşmesinde Bozunmaların İncelenmesi

Kullanılan doğal taşlar çeşmenin yapısına bağlı olarak yukarıdan aşağı doğru incelendiğinde, üst taraftaki kayaçların daha fazla bozunmaya uğradığı görülmüştür. Bunun nedeni ise yağmur suyunun kayaç içerisindeki çatlak ve boşluklara daha kolay bir şekilde girerek parçalanma ve bozunmalara yol açmasıdır. Kayaç içerisine sızan yağmur suları oksidasyon, hidratasyon gibi kimyasal reaksiyonlar sonucu asidik etki yaratarak bozunmaya neden olabileceği gibi suyun çatlak ve boşluklar içerisinde donması sonucunda da bu ayrışmalar ve çatlak oluşumları gerçekleşmektedir.

Abdi Kadı çeşmesinde bozunmaların fiziksel ve kimyasal ayrışmalar şeklinde gerçekleştiği gözlenmektedir. Bunun en belirgin özelliği volkanik kayaçlara göre daha yumuşak ve porozitesi daha fazla olan tüflerde görülmektedir. Afyonkarahisar yöresinde çok geniş alanları

Çizelge 2. Çeşmelerde Kullanılan Kayaç Örneklerinin Kimyasal Analizleri

	N-1 (Hacı Nasuh)	N-2 (Hüdalı (Hodalı))	N-3 (Apti kadı)	N-4 (Arap Mescit)
SiO ₂	58,980	60.12	64.69	62.85
Al ₂ O ₃	16,28	15.58	16.61	17.16
Fe ₂ O ₃	5,14	4.58	2.62	3.72
CaO	4,56	8.20	7.87	9.07
MgO	1,97	1.41	1.36	0.71
SO ₃	0,13	6.51	3.53	5.66
Na ₂ O	3,31	2.76	2.28	2.81
K ₂ O	5,71	0.96	1.05	1.12
TiO ₂	0,62	0.87	0.72	0.81
Cl ⁻	0,0081	0.0114	0.0000	0.0000

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ

3.1. Kimyasal Analizler ve Volkanik Kayaçların Kökeni

Tarihi çeşmelerin yapımında kullanılan kayaçların kökenini belirlemek amacıyla yapılan kimyasal analizler Çizelge 2'de verilmiştir. Le Bas vd, (1992) tarafından önerilen toplam alkali ve silis diyagramına göre numunelerin dasit, andezit ve trakiandezit kökenli olduğu görülmektedir (Şekil 6).

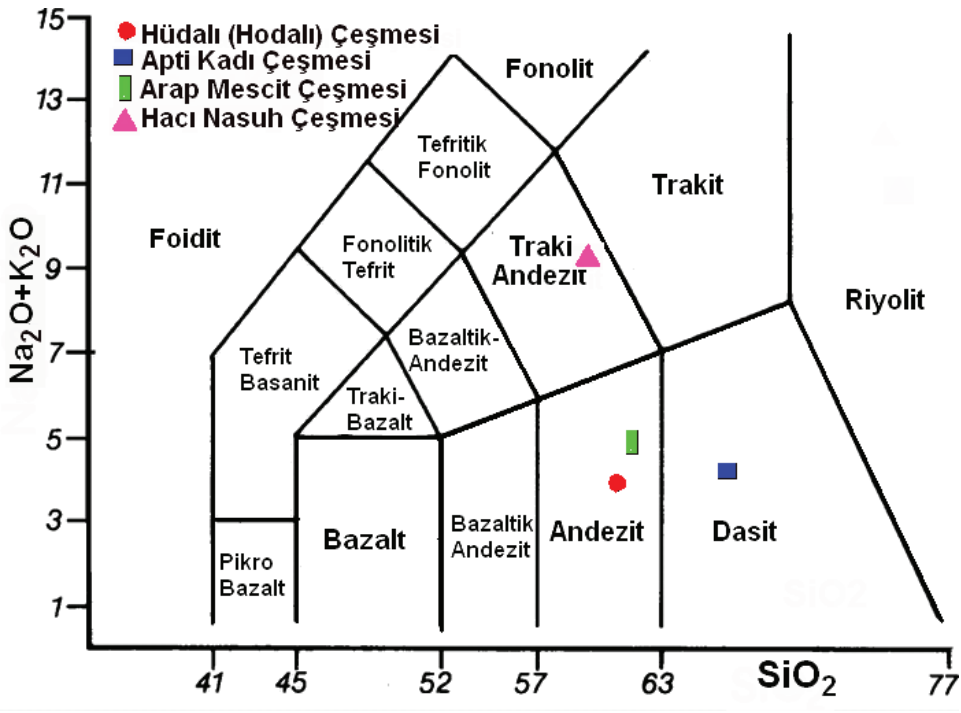
kaplayan ve antik çağlardan beri yapı taşı olarak kullanılan tüflerde gözlenen yaygın ayrışma türü pul pul dökülme şeklindedir (Şekil 7). Kaya (1998), eriyen tuzların taşın gözeneklerinden içeri girmesi ve hava atmosfer koşullarına bağlı olarak taşın nemini kaybetmesinden dolayı bu tuzların taş içerisinde çıkmaya çalışması sonucu taş yüzeyinde pul pul dökülmelere neden olduğunu ifade etmektedir.

Yapılan incelemelerde volkanik kayaçlarda çatlak oluşumlarına da rastlanmıştır (Şekil 8). Burada, kayacın fissür çatlaklarından içeri giren suyun zamanla donması ve hacminin artmasıyla

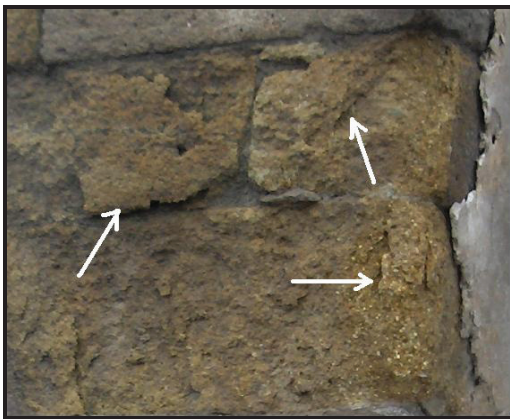
kayaçta çatlaklar oluşturmuş olabileceği tahmin edilmektedir. Afyonkarahisar'ın konum olarak bulunduğu iç Ege bölgesinde yılda 30-35 defa donma ve çözülme olaylarının meydana geldiği bilinmektedir. Yüzlerce yıl boyunca oluşan donma ve çözülme olayları özellikle çatlak ve boşluklu yapıya sahip olan kayalarda ayrışmaları kaçınılmaz olarak oluşturmaktadır.

Abdi Kadı çeşmesinden alınan örneklerin ince kesit incelemelerinde, kayacın matriksinin

bozunmadan dolayı oldukça etkilendiği görülmektedir. Biyotit ve hornblend gibi demir içeren minerallerin bozunmasından dolayı matriksinin renklendiği gözlenmektedir. Bu bozunma ince kesit örneğinde sarımsı, kırmızımsı renklerdeki bölgeler olarak görülmektedir. Ayrıca sanidinler içerisinde mikro çatlakların olduğu görülmektedir. Bu çatlakları, ikincil oluşmuş demir mineralleri tarafından doldurulmuştur (Şekil 9).



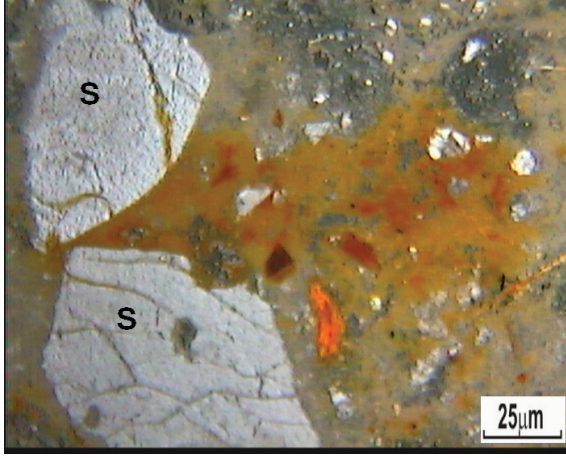
Şekil 6. Le Bas vd, (1992) tarafından önerilen toplam alkali ve silis diyagramında kayaçların kökeni.



Şekil 7. Abdi Kadı çeşmesinde ayrışan kayalarda pul pul dökülmenin fotoğrafı.



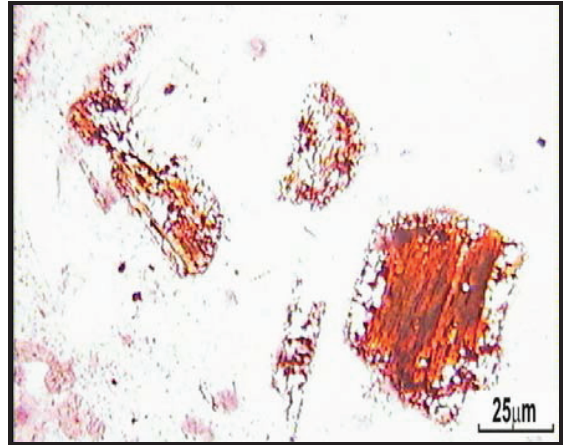
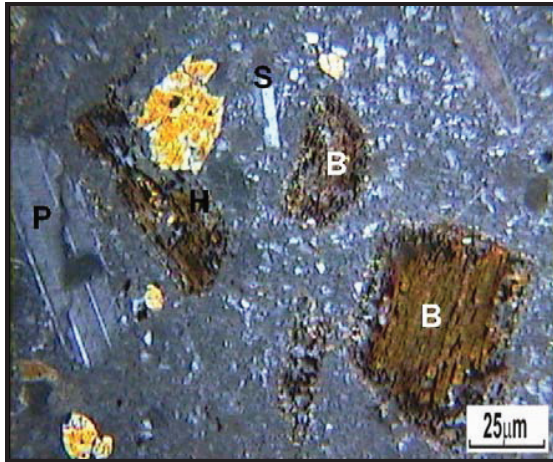
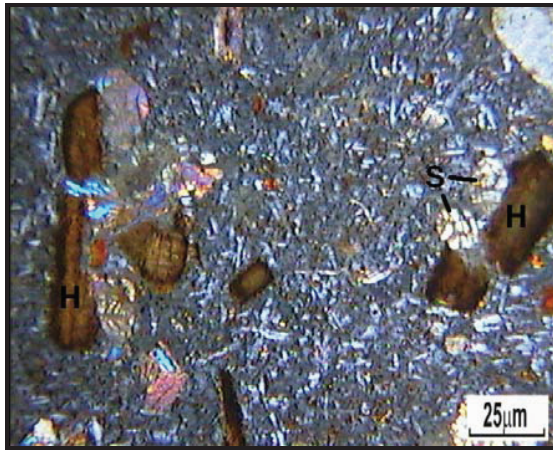
Şekil 8. Abdi Kadı çeşmesindeki volkanik kayalarda oluşan çatlaklar.



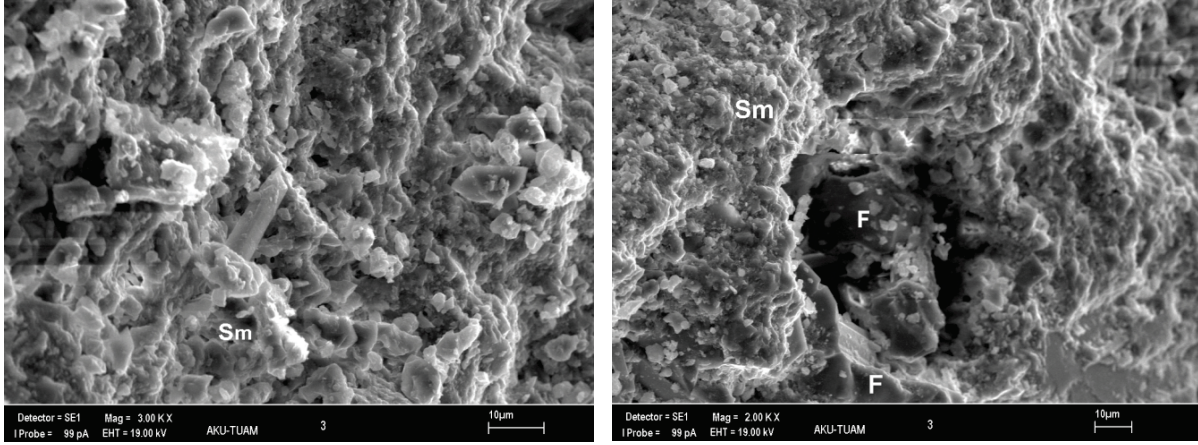
Şekil 9. Abdi Kadı çeşmesi AKÇ 1 nolu örneğin ince kesit fotoğrafı; Sanidin (S) mineralinde ayrışma ve matriksin demirli minerallerce boyanması (çift nikol, x40).

Feldspat mikrolitlerinden ve kısmen de camdan oluşan bir hamur içerisinde çeşitli fenokristaller saptanmıştır. Hamur akıntı yapısı göstermektedir. Kayaç içerisinde hornblend ve biyotit taneleri kenarlardan itibaren ayrılarak bozuşmuştur. Kayaçın matriksinde gözlenen mikritik feldspat taneleri (0,1–1 mikron) bozunmadan etkilenmemiştir. Daha iri boyutlu sanidinler ise ayrılmıştır. Bu kesitte kendine özgü görünümü ile plajyoklas minerali de görülmektedir (Şekil 10).

Abdi Kadı çeşmesinden alınan örneğin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizinde kil oluşumları görülmektedir (Şekil 11). Kil mineralleri feldspat grubu minerallerin üzerinde veya etrafında gelişmiştir.



Şekil 10. Abdi Kadı çeşmesi AKÇ 2 nolu örneğin ince kesit fotoğrafı S: Sanidin, H: Hornblend, P Plajyoklas (çift ve tek nikol, x40).



Şekil 11. Abdi Kadı çeşmesinden alınan trakit örneğinde kil mineralleri oluşumunun SEM fotoğrafı, F: Feldspat, SM: Smektit.

3.3. Arap Mescit Çeşmesinde Bozunmaların İncelenmesi

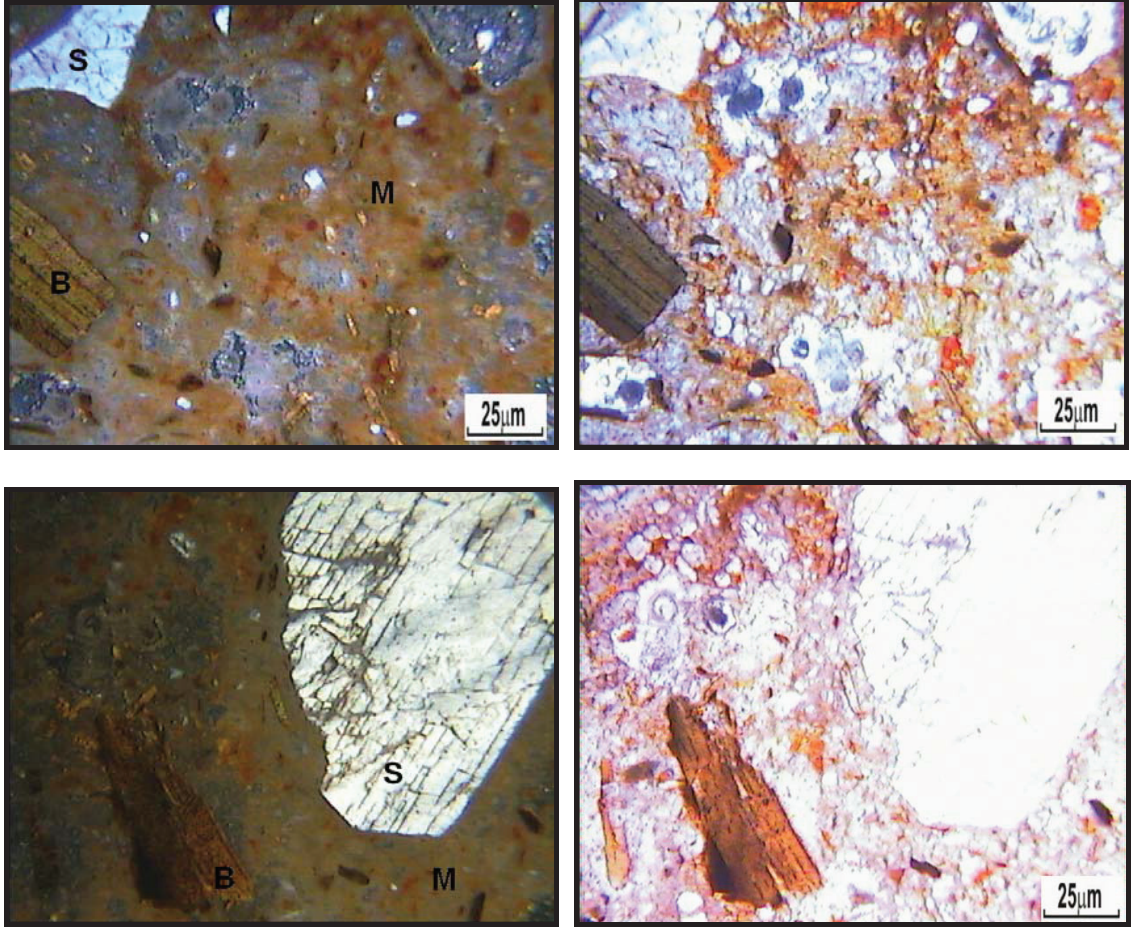
Arapmescit çeşmesinde oluşan bozunmaların resmi Şekil 12’de görülmektedir. Çeşmenin arka tarafında bulunan deposunun alt tarafında su sızmalarının oluşu, volkanik kayaların bozunmasına ve dökülmesine neden olmuştur. Dış ve iç ısı farklılıklarından dolayı oluşan bozunmaların burada meydana geldiği belirlenmiştir. Bu yapıda yağmur, kar, donma, çözünme ve sıcaklık gibi uzun süreli doğal etkenlerden dolayı doğal taşların bozduğu ve renk özelliklerini kaybettiği görülmektedir (Şekil 12).

Arapmescit çeşmesinden kullanılan doğal

taşlardan alınan numunelerden hazırlanan ince kesitlerin fotoğrafları Şekil 13’de verilmiştir. Matrikste yer yer camsı yapı görülmektedir. Hornblend ve biyotit tanelerinin bozduğu ve bu nedenle matriksin kahve-kırmızımsı bir renk kazandığı görülmektedir. İri taneli Sanidin minerallerinde de bozunmanın etkisiyle yoğun bir parçalanma olduğu gözlenmiştir. Bu çatlaklar, mineralin bozunmasını kolaylaştıran hidrotermal sıvıların aralarına girmesine ve reaksiyon meydana getirmesine yol açması bakımından önem taşımaktadır. Kayacın matriksi içerisinde çok az killeşme görülmektedir. Kil mineralleri çok küçük boyutlu olduğu için ince kesitlerde görüntülenememektedir. Bu özellik SEM fotoğraflarında daha belirgin olarak görülmektedir.



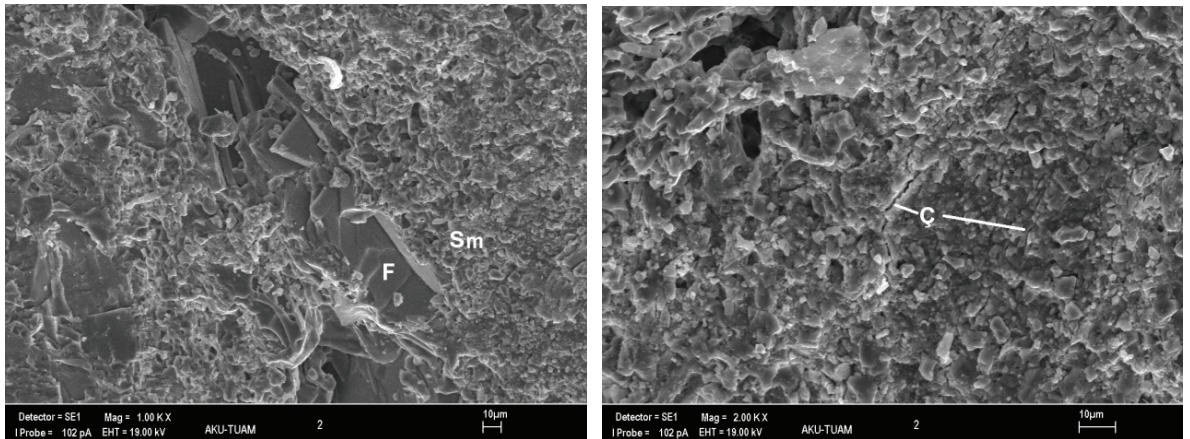
Şekil 12. Arapmescit çeşmesinde kayalarda görülen fiziksel bozunmalar.



Şekil 13. Arapmescit çöşmesi AMÇ 3 nolu örneğın ince kesit fotoğrafı S: Sanidin, B: Biyotit, M: Matriks (çift ve tek nikol, x40).

Arapmescit çöşmesinden alınan örneğın SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) analizinde kil oluşumları görölmektedir. SEM analizinde feldspat grubu minerallerin kırılarak parçalandığı

üzerinde veya etrafında kil mineralleri geliştiğı gözlenmektedir. Ayrışmanın diğerk etkilerinden biri de çatlak oluşumudur. Oluşan bu çatlaklar da Şekil 14'de görölmektedir.



Şekil 14. Arapmescit çöşmesinden alınan kayaç örneğinde kil mineralleri oluşumunun ve çatlakın SEM fotoğrafı, Sm: Smektit, F: Feldspat, Ç: çatlak

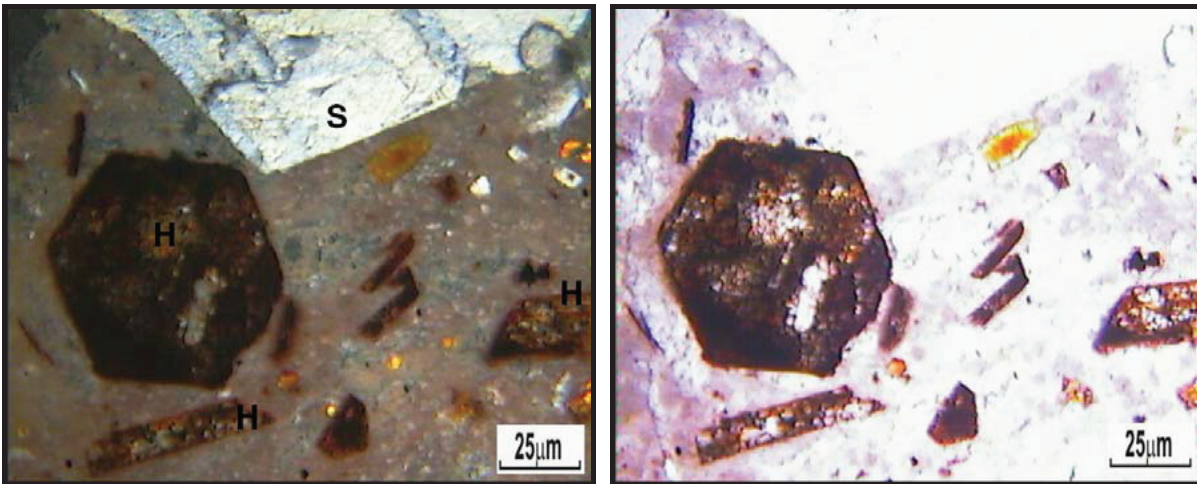
3.4. Hacı Nasuh Çeşmesinde Bozunmaların İncelenmesi

Çeşmenin genel yapısı incelendiğinde, çeşmenin üst yapı taşlarının atmosfer etkileri sonucu ayrıştığı görülmektedir (Şekil 15). Çeşmenin eğimli bir arazide yapılması da yapısal bozulmaları hızlandırmıştır.

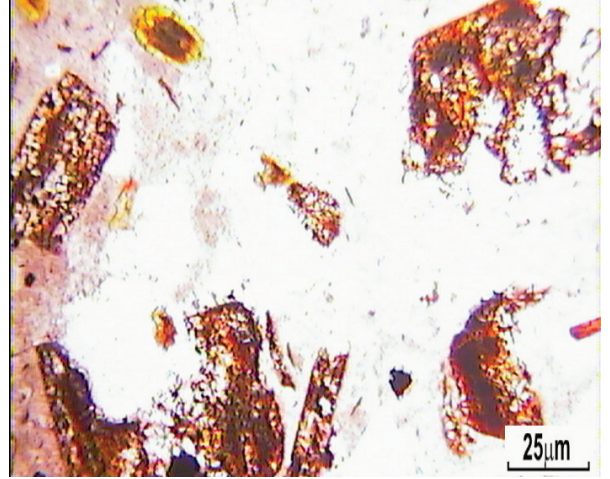
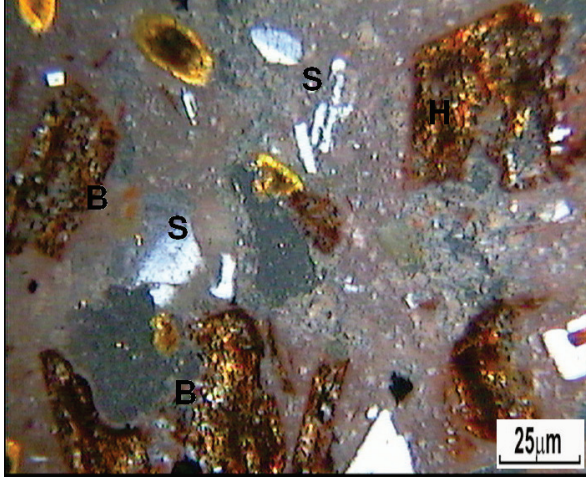
Hacı Nasuh çeşmesi ayrılmış yapıtaşlarından alınan örneklerin ince kesitlerine ait fotoğraflar Şekil 16'da verilmiştir. İnce kesit incelemelerinden, kayalarda bulunan bazı minerallerin fiziksel ve kimyasal bozunmadan dolayı parçalanarak ayrıştıkları gözlenmektedir. Bozunma, hornblend ve biyotit tanelerinde yoğun bir şekilde görülmektedir.



Şekil 15. Hacı Nasuh çeşmesi yapımında kullanılan volkanik kayalarda oluşan bozunmaların genel görünümü.



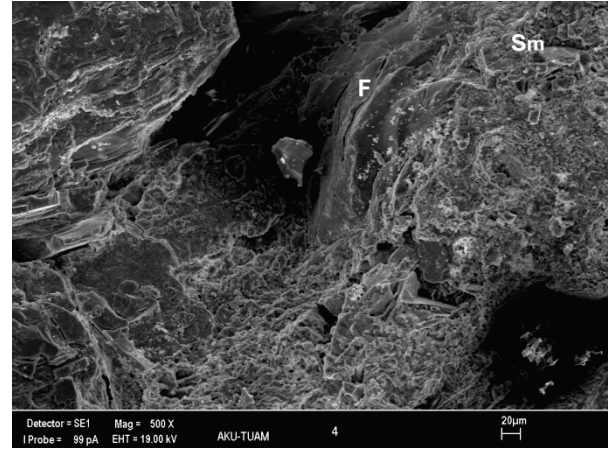
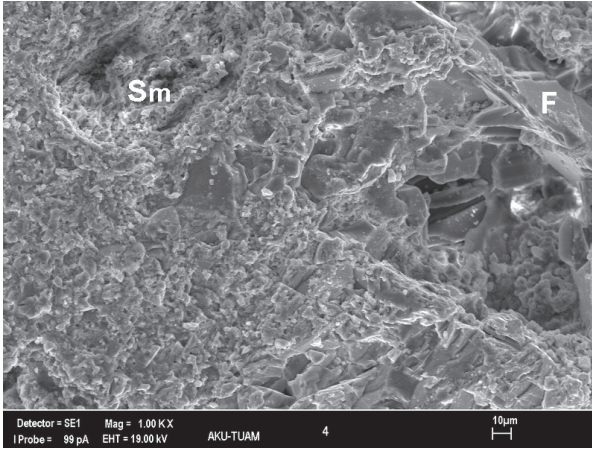
Şekil 16. Hacı Nasuh çeşmesi HNÇ 2 nolu örneğin ince kesit fotoğrafı S: Sanidin, H: Hornblend B: Biyotit (çift ve tek nikol, x40).



Şekil 16. (Devamı) Hacı Nasuh çeşmesi HNÇ 2 nolu örneğin ince kesit fotoğrafı S: Sanidin, H: Hornblend B:Biyoit (çift ve tek nikol, x40).

Hacı Nasuh çeşmesinden alınan örneğin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizinde kil oluşumları görülmektedir. SEM analizinde

feldspat grubu minerallerin üzerinde smektit mineralleri geliştiği gözlenmektedir (Şekil 17).



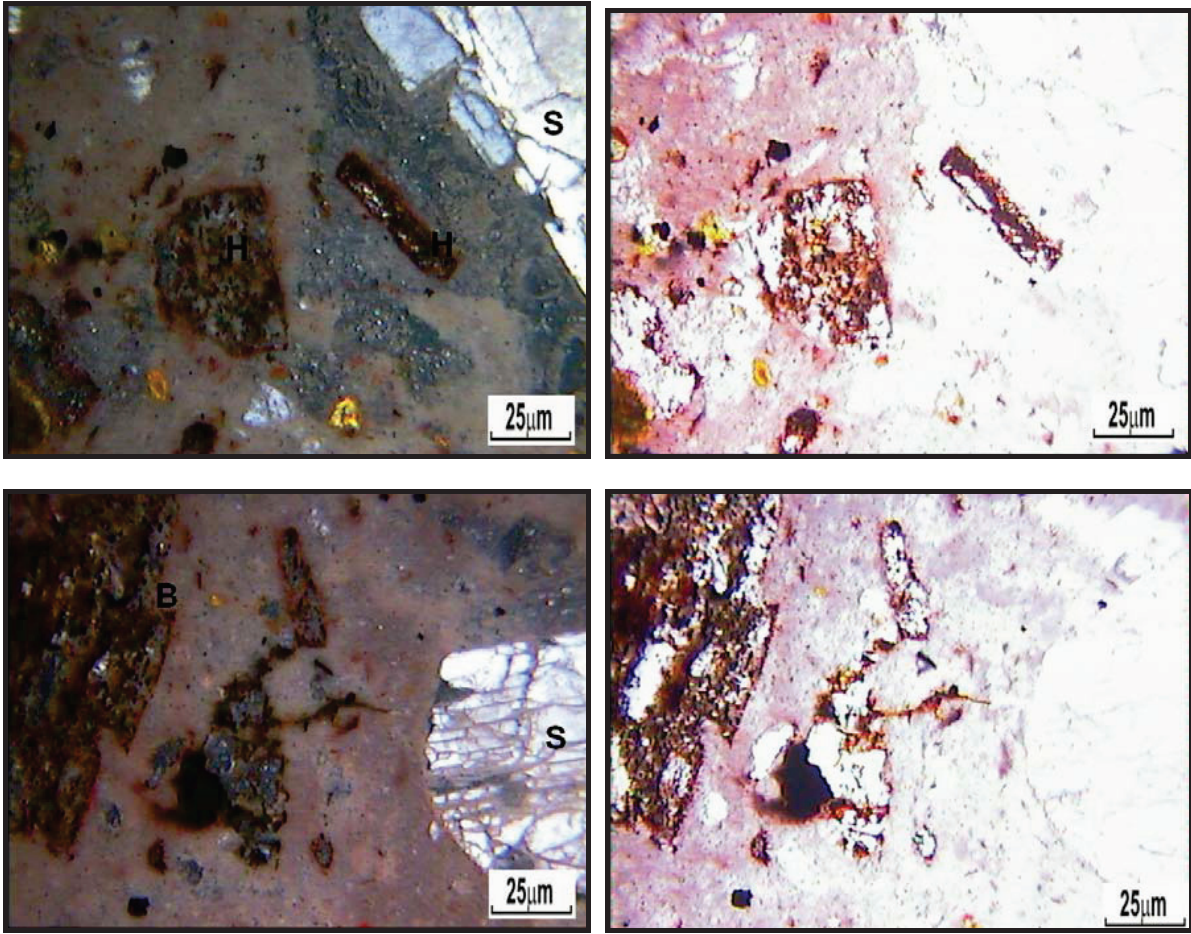
Şekil 17. Hacı Nasuh çeşmesi kayaçlarının SEM analizi örnekleri. F: Feldspat, Sm: Smektit.

3.4. Hüdali (Hodalı) Çeşmesinde Bozunmaların İncelenmesi

Hüdali (Hodalı) Çeşmesinde bozunmaların genelde alt taraftaki kayaçlarda olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni çeşme üzerinde çatının bulunması ve üstteki kayaçların yağmur, kar gibi doğal etkenlerden çok fazla etkilenmemesidir. Ayrıca depo bölümünün de sivalı olması nedeniyle gözle görünür bir ayrışma tespit edilememiştir. Çeşme üzerindeki incelemelerde, çeşme musluğunun bulunduğu

bölümdeki kayaçlarda dökülme, ufalanma gibi fiziksel bozunmalar görülmüştü.

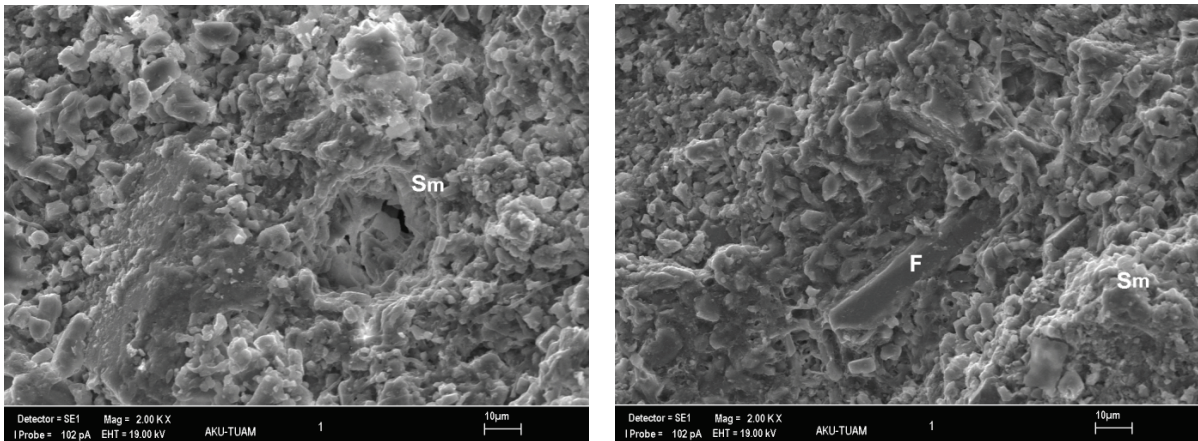
Hüdali çeşmede kullanılan kayaçlardan alınan numunelerden hazırlanan ince kesit fotoğrafları Şekil 18'de verilmiştir. İnce kesit numuneleri üzerinde yapılan incelemede bozunmanın genellikle Sanidin, Hornblend ve Biyoit tanelerinde meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 18. Hüdali (Hodalı) Çeşmesinde HÇ 2 nolu örneğin ince kesit fotoğrafı S: Sanidin, H: Hornblend, B: Biotit (çift ve tek nikel, x40).

Hüdali (Hodalı) Çeşmesinde alınan örneğin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizinde

feldspat grubu minerallerin üzerinde smektit mineralleri geliştiği gözlenmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. Hüdali (Hodalı) Çeşmesinde alınan örneğin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizi. F: Feldspat, Sm: Smektit.

4. SONUÇLAR

Çeşmelerin yapımında kullanılan doğal taşların ve yöresel taş malzemelerin çevre ve iklim şartlarına bağlı olarak bozulduğu ve özelliğini kaybettiği görülmüştür. Bunun nedeni büyük oranda su olmaktadır. Çatlak ve boşluklara giren su atmosfer etkileriyle donma-çözülme olaylarına maruz kalmakta ve zamanla parçalanmaktadır. Doğal taşların sudan etkilenmesi, genellikle yapıların kendi bazı detaylarının eksikliğinden veya yanlış onarımlar nedeni ile yağış sularının yapının etrafından uzaklaşmayıp yapının yakınında birikmesi yolu ile de olmaktadır.

İncelenen yapılarda bozulmanın en yoğun olduğu yer, suyla temasın daha kolay olduğu yerler ile zemine ve çatıya yakın yerlerdir. Yapının bu yerlerinde su emme oranı yüksek taşların kullanılması hem bozunmaları hızlandırmakta hem de taşların görünüm özelliklerini kaybetmesine neden olmaktadır.

Yapılan ince kesit incelemelerinde; kayaçlarda kil oluşumları, hornblend ve biyotit minerallerinde bozunmalar, demir minerallerinde oksitlenmeler sonucu renklemeler görülmüştür. Feldspat minerallerinin yapısında bulunan kırık ve çatlakları ikincil demir mineralinin doldurduğu görülmüştür.

Yapılarda, insanların neden olduğu tahribatlara da rastlanmaktadır. İnsanlar genellikle tarihi yapılara önem vermemekte ve onların korunmasında ilgisiz davranmaktadırlar. İncelenen bazı yapılarda, çeşme üzerine yazılar yazılmış, çeşme üzerine eşyalar koyulmuş ve bunların kayaçların bozunmasını veya yapıların yıkılmasını hızlandırdığı tespit edilmiştir.

Bu tür yapılarda kullanılan doğal taş yerine uygun olarak seçilmeli ve çok fazla yağmur kar suyu alan bölgelerde doğal taş üzerine koruma önlemleri alınmalıdır. Çok yağış alan bölgelerde su emme oranı düşük olan doğal taşlar tercih edilmelidir. Don olayının çok yaşandığı bölgelerde ise, don dayanımı yüksek doğal taşlar kullanılmalıdır.

SEM incelemelerinde, kayaçlarda gözle ve optik mikroskop çalışmaları ile belirlenen bozunmaların belirlenmesine çalışılmıştır. Bu incelemelerde bozunmalardan dolayı kil minerallerinin kayacın mikro kırık ve çatlaklarında yer aldığı gözlenmiştir. Bazı örneklerde kil

minerallerinin feldspat mineralinin üzerinde ve kenarında geliştiği gözlenmiştir. Bu durum, killerin oluşumunda feldspat minerallerinin etkili olduğunu göstermektedir. Kayacı alterasyona uğratan hidrotermal sıvıların kayacın çatlakları aracılığıyla bünyeye girdikleri ve çatlak ve boşluklar boyunca kil mineralleri oluşturduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

Chen, T.C, Yeung, M.R, Mori N. 2004; "Effect of Water Saturation on Deterioration of Welded Tuff Due to Freeze–Thaw Action, Cold Reg Sci Technol 38,127–136.

Çelik, M.Y. ve Sel, H., 2008; "Afyon'daki Tarihi Çeşmelerde Doğal Taş Kullanımı ve Restorasyonu", Mersem 2008 Türkiye VI. Mermer Sempozyumu. (Editör: M. Ersoy vd) s. 39-58, Afyon.

Daş, E., 1997; "Afyonkarahisar'daki Türk Anıtları", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 124 s.

Gökaltun, E., 2004; "Atmosferik Gaz ve Asitlerin Doğal Taş Yapı Malzemeleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Yöntemler ile Analizi", Mimarlar Odası İstanbul Büyükşehir Şubesi 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, 149-160, İstanbul.

Gökaltun, E., 2010; "Eskişehir Tarihi Kurşunlu Camii'nin Duvarlarında Yüzey Suyunun Etkisi", Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11 (2), 70-80.

Gökay, M.K., 2003; "Doğal Ortamda Bozulmanın Kayaç Rengine Etkisi", Madencilik, 42(1), 35-41,

Gönçer, S., 1971; "Afyonkarahisar İli Tarihi", Karınca Matbaacılık, Cilt 1, İzmir, 400.

Karazeybek, M. Polat, Z. ve Ilgar, Y., 2005; "Afyonkarahisar Vakıf Eserleri", Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 60, 412 s, Afyonkarahisar.

Karasu, G., 2006; "Afyon Çeşmeleri", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 248 s.

Kaya, M., 1998; "Hava Kirliliğinin ve Atmosferik Olayların Yapı Taşları/Harçlar Bozulması Üzerine Etkileri", Mermer Doğal Taş Sektörünün Dergisi, 4(21),106-109.

Le Bas, M.J. Le Maitre, R.W. ve Woolley, A.R., 1992; "The Construction of the Total Alkali-Silica Chemical Classification of Volcanic Rocks", Miner Petrol 46:1-22.

Öztürk, Y. 2000; "Afyonkarahisar'da Tarihi Çeşmelerde Kullanılan Yapı Taşlarının Bozunma Özelliklerinin Çevresel Etkilere Bağlı Olarak İncelenmesi", Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 92 s. Afyonkarahisar.

Tecer, L.H. 2005; "Hava Kirleticilerin Karbonatlı Yapı Malzemeleri Üzerine Etkileri". Pamukkale J Eng Sci. 11(2): 231-237

Topal T, Sözmen B. 2003; "Deterioration Mechanisms of Tuffs in Midas Monument", Eng Geol, 68,201-223.

Tuğrul, A, Zarif İ.H, Yıldırım M, ve Gürpınar O. 1999; "İstanbul'daki Tarihi Anıt ve Yapılarda Kullanılan Kireçtaşlarının Kirlenme ve Ayrışmasında Etkin Faktörler", İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, cilt 12,

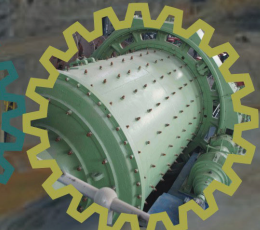
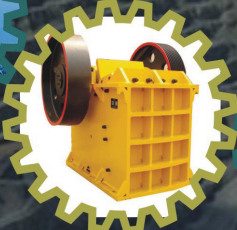
Tuğrul, A. 2004; "The Effect of Weathering on Pore Geometry and Compressive Strength of Selected Rock Types From Turkey", Eng Geol 75,215-227.

Wedekind, W, Lopez-Doncel, R, Dohrmann, R, and Siegesmund S. 2012; "Weathering of Volcanic Tuff Rocks Caused by Moisture Expansion", Environ Earth Sci, doi: 10.1007/s12665-012-2158-1



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ

4 . MADEN MAKİNALARI SEMPOZYUMU



- Maden Üretim ve İş Makinaları
- Cevher Hazırlama Makina ve Ekipmanları
- Cevher Zenginleştirme Makina ve Ekipmanları
- Maden Makinaları Tasarımı ve Kontrol Sistemleri
- Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Makinaları Tasarımı
- Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Tesislerinde Otomasyon ve Kontrol Sistemleri
- Maden Makinalarında Performans Ölçüm ve Değerlendirmesi
- Yardımcı Ekipman ve Malzemeler
- Maden Makina ve Donanım Seçimi
- Kazı Mekaniği
- İş Güvenliği, Koruyucu ve Kontrol Ekipmanları
- Yerli Ekipman Üretiminin Madencilik Sektörüne Katkıları ve Gelişim Olanakları
- Enerji Verimliliği
- Teknolojik Gelişmeler
- Bakım – Onarım
- Maden Makinaları ve Tesisler İçin Yetkin Personel Sorunu
- Maden Makinaları İle İlgili Diğer Bilim Alanlarındaki Tasarım, Proje, Malzeme ve Benzeri Konular

23-24 MAYIS 2013
İZMİR

http://www.maden.org.tr/etkinlikler/maden_makinalari/

Yüksek Hassasiyet Düşük Maliyet

İster birkaç "dm"
İster "cm"

GPS ALICISI

Hassasiyet artık daha uygun fiyata

- Maden arama
- İzin ve ruhsat
- Maden yatakları haritaları
- Rezerv hesaplamaları
- Dekopaj
- ÇED raporları...

İçin vazgeçilmez
konum ölçüm ve uygulama cihazı



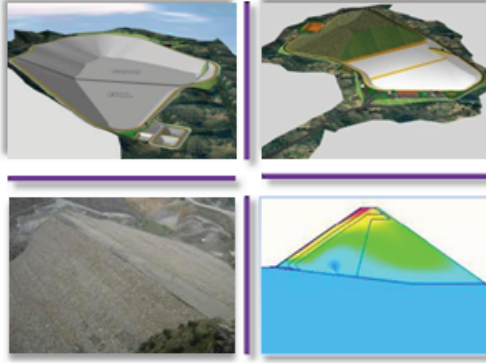
ashtech.

GEOMATICS
GROUP

Beyler Cd. 1644. Sk. No: 2
Dostkent Sitesi Yanı
Çayyolu / ANKARA
Tel : 0 312 238 22 55
Fax : 0 312 238 22 85
web : www.gpsturk.net



ENDÜSTRİYEL VE MADEN ATIK DEPOLAMA SAHALARI TASARIMI



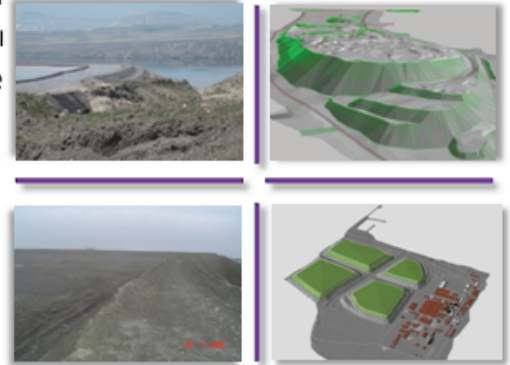
26.Mart.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete yayınlanarak yürürlüğe giren “**Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik**” gereği Sanayilerden kaynaklanan atıklar için Düzenli Depolama Sahalarının:

- Tüm Mühendislik Çalışmaları,
- Avan ve Uygulama Projeleri,
- Teknik Şartnamelerin Hazırlanması,
- Keşif-Metraj Çalışmaları,
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığından proje onaylarının alınması,
- Teknik Danışmanlık.

26.Mart.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete yayınlanarak yürürlüğe giren “**Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik**” Geçici Madde 3 gereği Sanayilerin Halihazırda kullandıkları Düzenli Depolama Sahalarının “**İyileştirme Planlarının**” hazırlanması için:

- Tüm Mühendislik Çalışmaları,
- Avan ve Uygulama Projeleri,
- Teknik Şartnamelerin Hazırlanması,
- Keşif-Metraj Çalışmaları,
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığından proje onaylarının alınması,
- Teknik Danışmanlık.

ENDÜSTRİYEL VE MADEN ATIK DEPOLAMA SAHALARI REHABİLİTASYONU



TK Müşavir Mühendisler Ltd. Şti.

Ali Nihat Tarlan Cad. Balkan Sok. Yerlikaya Apt. No:2 D:7 Bostancı/İstanbul
Tel: +90 (216) 372 50 07 - 372 52 50 Fax: +90 (216) 372 56 22

web: www.tk-consulting.org

e-mail : tk@tk-consulting.org



ankrajlar



*ađır iř
ankrajları*



*rüzgar tribünü
ankrajları*



*yük kaldırma
halkaları*



saplamalar



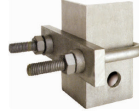
U-boltlar



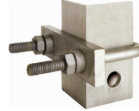
U-keleçeler



boru keleçeleri



köşebent keleçeleri



*kutu, INP, H Profil
keleçeleri*



*test
makinası*

Aksa, Her sipariřte müřterilerine sipariře ait malzemenin çekme dayanım test raporunu vermektedir.

AKSA
Endüstri Makina Sanayi Tic. Ltd. şti.
Industry, Machine Trade Co. Ltd.

unifix
u n i q u e fixture

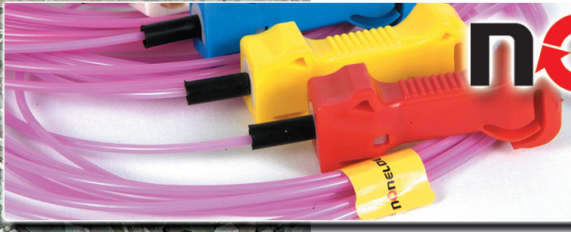
Merkez Ofis
21. Cadde 617.Sok. No: 1/23 İvedik OSB
Ostim 06370 ANKARA
Tel : +90 (312) 395 29 22 (pbx)
Fax: +90 (312) 395 29 23
Fabrika
27. Cadde No: 89 İvedik OSB - Ostim / ANK.
www.aksabolt.com aksabolt@aksabolt.com





Nobelex®

Kapsüle ve
yemlemeye duyarlı,
emulsiyon patlayıcı



NONELDET®

Elektriksiz kapsül



ANFONİT®

(ANFO) Yemlemeye
duyarlı,
patlayabilir
karışımlar



*Delme ve
Patlatma
Hizmetlerinde
Güven*



NitroMakdnx®

K İ M Y A S A N A Y İ İ A . Ş .

Cinnah Caddesi Pilot Sokak No: 17 06690 Çankaya - ANKARA/TÜRKİYE
Tel: +90.312. 440 53 17 (pbx) Fax: +90.312. 440 61 59
www.nitromakdnx.com nitromakdnx@nitromakdnx.com

K - O
TSE-ISO-EN
9000

TSE
İSG-OHSAS
TS 18001

CE CE
0519 1395